

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la**  
**Producción**

**"PROYECTO DE DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO DE**  
**CHOCOLATE USADO EN COBERTURA DE HELADOS BAJO**  
**METODOLOGIA PMI"**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**Examen Complexivo**

**Previo la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Presentado por:**

**Mario Ricardo Terán Jaramillo**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2016**

## AGRADECIMIENTO

A mi madre y a mi padre que hicieron su mejor esfuerzo en formarme como persona.

A mis compañeros de promoción.

A Dr. Kleber Barcia, Dr. Héctor Espinoza y M.Sc. Efraín Terán , por su revisión y comentarios.

## DEDICATORIA

A MI ABUELA AGUEDA, EJEMPLO  
DE FUERZA, CARÁCTER Y  
TEMPLE.

A PRISCILA Y JANE, POR  
ACOMPañARME SIEMPRE COMO  
UN EQUIPO.

A MIS TÍAS, QUE FUERON PARTE  
DE MI CAMINO.

A MI ESPOSA E HIJOS.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

Dr. Kleber Barcia  
VOCAL



---

Dr. Héctor Espinoza  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



---

MARIO RICARDO TERAN JARAMILLO

## RESUMEN

Una planta dedicada a la elaboración industrial de helados en la ciudad de Guayaquil, posee un amplio portafolio de presentaciones de sus productos, tales como: Paletas, conos, sandwiches, tarrinas de 1 litro, entre otros.

Muchas de las operaciones para la producción del helado se encuentran automatizadas, sin embargo, existe un gran número de procesos que aun requieren de trabajo manual, como por ejemplo, el transporte de chocolate usado en la cubierta de las paletas, el cual se transporta a través de carretillas desde el área de almacenamiento hacia el área de calentamiento y desde allí, finalmente, hasta el área de envasado.

Este chocolate usado en la cubierta de las paletas, cambió su composición durante el año 2015, debido a nuevas exigencias internas de la compañía. Dichas exigencias además incluían obligatoriamente, un mayor control de temperatura de entrega, y que no existiese manipulación del chocolate luego del proceso de calentamiento.

Para cumplir con estos nuevos requerimientos, fue necesario diseñar e implementar un sistema de bombeo y transporte por tuberías del chocolate derretido, teniendo siempre presente que el chocolate es un fluido de

comportamiento no Newtoniano.

El proyecto de diseño de este sistema de bombeo es el objeto del presente trabajo.

Para desarrollar este proyecto, aplicaremos metodología de gestión de proyectos conforme recomendaciones y lineamientos del Project Management Institute (PMI), el cual consolida sus directrices en la guía de FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCION DE PROYECTOS<sup>1</sup> (Comúnmente conocida como Guía PMBOK), la cual se encuentra al momento de escribir el presente trabajo, en su quinta edición.

Para los cálculos involucrados en el diseño nos basaremos principalmente en los libros: Bioprocessing pipelines: Rheology and Analysis<sup>2</sup> en el cual se recopilan formulas basadas en datos empíricos de diferentes fluidos no Newtonianos, para modelar y predecir su comportamiento, incluyendo además, recomendaciones prácticas para considerar en diferentes configuraciones de líneas de tuberías, y Transport processes and unit operations<sup>3</sup> el cual recopila formulas basadas en datos empíricos de diferentes fluidos no Newtonianos, para modelar y predecir la transferencia de calor

---

<sup>1</sup> Bibliografía [1]: PMI,2013

<sup>2</sup> Bibliografía [2]: STEFFE, J.F. ; 2006

<sup>3</sup> Bibliografía [3]: GEANKOPOLYS,C ; 1993

durante su movimiento a través de una tubería.

Finalmente, se delimitó el alcance del proyecto, se definió sus objetivos, se enlistaron los requisitos, se planificaron y priorizaron los entregables, se ejecutaron los cálculos técnicos, generando el diseño final del sistema de trasvase de chocolate, que consolida memorias de cálculo, planos, presupuesto y cronograma del proyecto.

## INDICE GENERAL

Pág.		
	RESUMEN	I
	ÍNDICE GENERAL	IV
	SIMBOLOGIA	VIII
	ABREVIATURAS	XII
	INDICE DE FIGURAS	XIII
	ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
	INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1		
1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA	
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Descripción general del proceso de elaboración de helado de palito con cubierta de chocolate	4
1.3	Marco general de metodología de gestión de proyectos PMI	11
1.3.1	Grupos de proceso	13
1.3.2	Áreas de conocimiento	14
1.3.3	Relación entre grupos de proceso y áreas de conocimiento	15

## CAPÍTULO 2

2.	PROCESOS DE INICIACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	
2.1.	Iniciación del proyecto	16
2.1.1.	Acta de constitución del proyecto	17
2.1.1.1.	Justificación y propósito	18
2.1.1.2.	Objetivos y criterios de aceptación	18
2.1.1.3.	Enunciado de trabajo	19
2.1.1.4.	Caso de negocio	20
2.1.1.5.	Contexto del proyecto	20
2.1.1.6.	Cronograma y presupuesto	22
2.1.1.7.	Responsables del proyecto	23
2.1.2.	Identificación de Interesados del proyecto	23
2.2.	Proceso de planificación	
2.2.1	Plan de dirección del proyecto	26
2.2.1.1	Planificación del alcance	27
2.2.1.1.1	Recopilar requisitos	27
2.2.1.1.2	Definir alcance	28
2.2.1.1.3	Crear EDT	30
2.2.1.2	Planificación del cronograma	33
2.2.1.2.1	Definir y secuenciar actividades	33

2.2.2.2.2	Estimar recursos, duración y desarrollo de cronograma	34
2.2.1.3	Planificación del costo	40
2.2.1.3.1	Estimar costo	40
2.2.1.3.2	Determinar presupuesto	42

### CAPÍTULO 3

#### 3. PROCESOS DE EJECUCION DEL PROYECTO

3.1.	Dirigir y gestionar trabajo del proyecto	44
3.2.	Ejecución de paquetes de trabajo definidos en la EDT	44
3.2.1.	Elaboración de planos de recorrido propuesto para líneas de producto y agua caliente	45
3.2.1.1.	Elaboración de esquema de línea de producto	46
3.2.1.2.	Elaboración de esquema de línea de agua caliente	48
3.2.2.	Elaboración de memoria de cálculo de línea de producto y agua caliente	49
3.2.2.1.	Diseño de línea de producto y bomba	49
3.2.2.1.1.	Cálculo hidráulico de tuberías	52
3.2.2.1.2.	Cálculo de bomba	62
3.2.2.2.	Selección de bomba y tubería de producto	63
3.2.2.2.1.	Potencia total requerida y torque	67
3.2.3.	Elaboración de memoria de cálculo térmico para líneas de chaqueta y agua caliente	69

3.2.3.1.	Diseño de chaqueta y tubería de agua caliente	69
	3.2.3.1.1.Cálculo de transferencia de calor tramo Chocolatería-Envasado	69
	3.2.3.1.2.Cálculo de tubería de agua caliente para alimentación de chaqueta	76
	3.2.3.1.3.Cálculo de espesor de aislamiento de tubería enchaquetada	79
PROCESOS DE CIERRE		
4.	CIERRE, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
	BIBLIOGRAFÍA	87

## SIMBOLOGIA

$A$	área
$A_{\text{anular}}$	área anular entre chaqueta y tubo interior
$c_p$	calor específico a presión constante
$D$	diámetro
$D_i$	diámetro interior
$D_e$	diámetro exterior
$D_{\text{pulg}}$	diámetro (Sistema Anglosajón)
$D_{\text{equivalente}}$	diámetro equivalente
$f$	factor de fricción de Fanning
$Fr$	pérdida de energía viscosa (pérdida por fricción) por unidad de masa
$F$	fuerza
$g$	aceleración de gravedad
$h_i$	coeficiente de convección interno
$h_o$	coeficiente de convección en pared del tubo
$h_o$	coeficiente de convección externo

$h_{\text{rad}}$	coeficiente de radiación
HP	potencia hidráulica
H <sub>p</sub>	altura total de elevación de la bomba
H <sub>s</sub>	carga hidráulica del sistema
k	coeficiente de conductividad térmica
K	coeficiente de consistencia
L	longitud
LMDT	temperatura media calórica
M	torque
m	masa
$\dot{m}$	caudal másico
n	índice de flujo
Re	número de Reynolds (para fluidos Newtonianos)
Re <sub>PL</sub>	número de Reynolds para fluidos, Ley de la Potencia
(NPSH) <sub>A</sub>	Altura de succión neta disponible
(NPSH) <sub>R</sub>	Altura de succión neta requerida

$Nu$	número de Nusselt
$P$	presión
$Pr$	número de Prandtl
$P_v$	presión de vapor
$Q$	caudal volumétrico
$q$	calor
$T_c$	temperatura calórica
$T_s$	temperatura superficial
$T_\infty$	temperatura ambiente
$u$	velocidad
$\bar{u}$	velocidad promedio (o media)
$u_{m\acute{a}x}$	velocidad máxima
$V$	volumen
$W$	trabajo del eje por unidad de masa
$z$	elevación
$\alpha$	factor de corrección de la energía cinética

$\Delta p$	pérdida de presión o cambio en la presión
$\varepsilon$	emisividad superficial
$\theta$	ángulo, grados
$\mu$	viscosidad absoluta
$\rho$	densidad
$\sigma$	constante de Stefan-Boltzmann
$\Phi$	potencia

## ABREVIATURAS

AISI	American Iron and Steel Institute
EDT	Estructura de desglose de trabajo
PMI	Instituto de administración de proyectos (Project Management Institute)
PMBOK	Guía de fundamentos para la dirección de proyectos (Project Management Body of Knowledge)
SMART	Específico (Specific), Medible (Measurable), Alcanzable (Achievable), Realista (Realistic), Duración Limitada (Time-Bound)

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Esquema general del proceso de producción de helado en palito con baño de chocolate	5
Figura 1.2	Esquema general del proceso de mezcla, pasteurización-homogeneización y maduración en área de mezcla	6
Figura 1.3	Esquema general de proceso de calentamiento y transporte de chocolate liquido desde área de chocolatería	8
Figura 1.4	Esquema general de proceso de envasado de helados en la variedad de helados de palito con cubierta de chocolate	9
Figura 1.5	Esquema de envasado de helado palito con baño de chocolate	10
Figura 1.6	Ejemplos de fases de un proyecto: Proyecto de 3 fases secuencial y Proyecto de 2 fases superpuestas. (Tomado de la Guía PMI, quinta edición)	12
Figura 1.7	Ejemplo cotidiano del racional tras la definición de los grupos de proceso	12
Figura 1.8	Definición PMI de cada grupo de proceso	13
Figura 1.9	Interacción entre grupos de proceso de la dirección de Proyectos	14
Figura 1.10	Relación entre grupos de proceso y áreas de conocimiento	15

Figura 2.1	Proceso de elaboración del Acta de Constitución del Proyecto	17
Figura 2.2	Proceso de identificación de los interesados del proyecto	23
Figura 2.3	Matriz Poder vs. Interés de los interesados del proyecto	25
Figura 2.4	Proceso de elaboración del plan para la dirección del proyecto	26
Figura 2.5	Proceso de recopilación de requisitos del proyecto	27
Figura 2.6	Proceso de definición del alcance del proyecto	28
Figura 2.7	Proceso de crear la línea base del proyecto	30
Figura 2.8	EDT del proyecto	31
Figura 2.9	Proceso de definición de actividades de cronograma del proyecto	33
Figura 2.10	Proceso de secuenciación de actividades de cronograma del proyecto	34
Figura 2.11	Proceso de estimación de recursos de cronograma del proyecto	35
Figura 2.12	Proceso de estimación de duración de actividades de cronograma del proyecto	35

Figura 2.13	Gantt del proyecto	38
Figura 2.14	Ruta critica del proyecto	39
Figura 2.15	Proceso de estimación de costos del proyecto	40
Figura 2.16	Proceso de determinación de presupuesto del proyecto	42
Figura 2.17	Línea base de costos del proyecto	43
Figura 3.1	Plano 3D de recorrido propuesto para línea de tuberías de producto	45
Figura 3.2	Plano 3D de recorrido propuesto para línea de tuberías de agua caliente	45
Figura 3.3	Esquema de flujo de chocolate en recirculación	47
Figura 3.4	Esquema de flujo de chocolate en descarga hacia olla chocolatera	47
Figura 3.5	Lazo de calentamiento 1 (Tramo de ida)	48
Figura 3.6	Lazo de calentamiento 2 (Tramo de retorno)	49
Figura 3.7	Curva caudal vs. velocidad bomba sanitarias Waukesha 018	64

Figura 3.8	Curva caudal vs. velocidad bomba sanitarias Waukesha 018-U2	64
Figura 3.9	Curva caudal vs. velocidad bomba sanitarias Waukesha 018-UL	65
Figura 3.10	Curvas de caudal, velocidad, potencia y NPSHr (NIPR) de bomba 018-UL	66
Figura 3.11	Curvas del sistema propuesto a 2", 2.5" y 3"	68
Figura 3.12	Curvas comparativas entre costo de línea de tuberías vs. costo de bombas a 2", 2.5" y 3"	68
Figura 3.13	Esquema de chaqueta de agua caliente	69
Figura 3.14	Temperaturas de ingreso y salida previstas para chocolate y agua caliente	70
Figura 3.15	Esquema de circuito de agua caliente	76
Figura 3.16	Curvas del sistema de ramales de agua caliente a diferentes diámetros y curva de bomba de agua propuesta vs. Caudal	78
Figura 3.17	Curva $k$ (W/mK) vs. $T$ (°C) para aislamiento	80
Figura 4.1	Proceso de cierre	82
Figura 4.2	Revisión final EDT	83

Figura 4.3    Diseño final

83

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Lista de componentes del chocolate líquido	3
Tabla 1.2	Propiedades sensoriales del chocolate líquido	3
Tabla 1.3	Propiedades físicas del chocolate líquido	4
Tabla 1.4	Áreas de conocimiento según el PMI	14
Tabla 2.1	Objetivos y criterios de aceptación del proyecto	18
Tabla 2.2	Enunciado de trabajo del proyecto	19
Tabla 2.3	Caso de negocio	20
Tabla 2.4	Supuestos y Restricciones	21
Tabla 2.5	Cronograma y Presupuesto de alto nivel	22
Tabla 2.6	Registro de interesados del proyecto (Alto poder/Alto interés)	24
Tabla 2.7	Enunciado de alcance del proyecto	29
Tabla 2.8	Diccionario EDT:DISEÑO	31
Tabla 2.9	Diccionario EDT: GESTION	32
Tabla 2.10	Diccionario EDT:INSTALACION	32
Tabla 2.11	Actividades de Diseño y Gestión: Estimación de recursos y duración	36

Tabla 2.12	Actividades de Instalación: Estimación de recursos y duración	37
Tabla 2.13	Estimación de costos del proyecto	41
Tabla 2.14	Planificación de gastos durante el proyecto	43
Tabla 3.1	Longitud de tubería de chocolate y agua caliente	46
Tabla 3.2	Medida de bombas y sus diámetros de conexión	50
Tabla 3.3	Índice de curvas de bombas Waukesha	51
Tabla 3.4	Propiedades físicas del chocolate a 45 °C	52
Tabla 3.5	Especificaciones del sistema de línea de producto	53
Tabla 3.6	Comportamiento de presión de entrada a bomba y NPSHa con diferentes caudales	59
Tabla 3.7	Caudal vs. Caída de presión en filtro (Datos con agua)	60
Tabla 3.8	Perdida total en descarga evaluada a diferentes caudales	61
Tabla 3.9	Resultados para selección de la bomba	63
Tabla 3.10	LMDT y temperaturas promedio para el sistema propuesto	71
Tabla 3.11	Propiedades físicas del chocolate y agua en respectivas temperaturas promedio	71
Tabla 3.12	Medidas de diámetros de tuberías sanitarias AISI 304-316L	72
Tabla 3.13	Coeficientes de convección del tubo interno (chocolate)	74
Tabla 3.14	Coeficiente de convección del tubo externo (agua)	76

Tabla 3.15	Longitudes de ramales de distribución de agua caliente	78
Tabla 3.16	Iteraciones, punto de partida (verde) y valores finales de iteración (amarillo)	81
Tabla 4.1	Especificaciones técnicas de diseño final	84

## INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista técnico, para realizar el diseño del sistema de bombeo de chocolate líquido, se aplicó los principios básicos de mecánica de fluidos y transferencia de calor, estos principios se expresan a través de fórmulas generales como la ecuación de Bernoulli y Ley de Fourier, las cuales utilizando la ley de potencia como modelo de viscosidad para fluidos no Newtonianos, permiten ser mas específicos en casos de fluidos no Newtoniano, como el chocolate líquido, facilitando la aplicación de ecuaciones, desarrolladas por diversos autores a través de generalizaciones basadas en datos experimentales, permitiendo caracterizar y predecir el comportamiento de este fluido viscoso.

Desde el punto de vista de gestión, se aplicó la metodología de administración de proyectos, desarrollada por el PMI, esta facilitará los lineamientos para la administración de los recursos, sean físicos o de conocimiento para obtener el resultado esperado.

# CAPÍTULO 1

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA

En el inicio de este capítulo se plantean los antecedentes del proyecto, el problema de transporte de chocolate líquido actual, se describe de manera general el proceso de producción de helados y se resume la metodología a seguir.

### 1.1 Antecedentes

El chocolate es un elemento común usado en la industria alimenticia y entre ellas, la industria de helados, representa un valor agregado y una característica diferenciadora entre las diferentes presentaciones que existen entre los tradicionales helados de palito.

El chocolate al cual haremos referencia, no es chocolate puro, sino una mezcla de componentes en estado líquido y en suspensión, esta composición le concede al chocolate las propiedades físicas necesarias para su uso en la cobertura.

Este chocolate liquido es de fabricación local (Guayaquil) y ha sido usado durante muchos años en la cobertura de los helados tipo paleta.

A inicios del 2015, como parte de un requerimiento interno de la compañía, se requirió cambiar la composición del chocolate, dicho cambio fue desarrollado en conjunto con un proveedor local, hasta definir una nueva lista de componentes (Tabla 1.1) llegar a las nuevas especificaciones sensoriales requeridas (Tabla 1.2) y nuevas propiedades físicas (Tabla 1.3):

**Tabla 1.1** Lista de componentes del chocolate líquido

Lista de componentes	
Ingrediente	Porcentaje
Grasa Vegetal	50,00%
Azucar	34,70%
Cocoa en polvo	14,00%
Milk, whole, powder	0,50%
Licor de cocoa	0,50%
Lecitina	0,25%
Vanillina	0,04%
Mono/Digliceridos de acidos grasos	0,01%
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>

**Tabla 1.2** Propiedades sensoriales del chocolate

Examinacion sensorial	
Propiedad	Requerimiento
Apariencia	Café oscuro
Olor	Característico a chocolate
Sabor	Característico a chocolate
Textura	Liquido viscoso

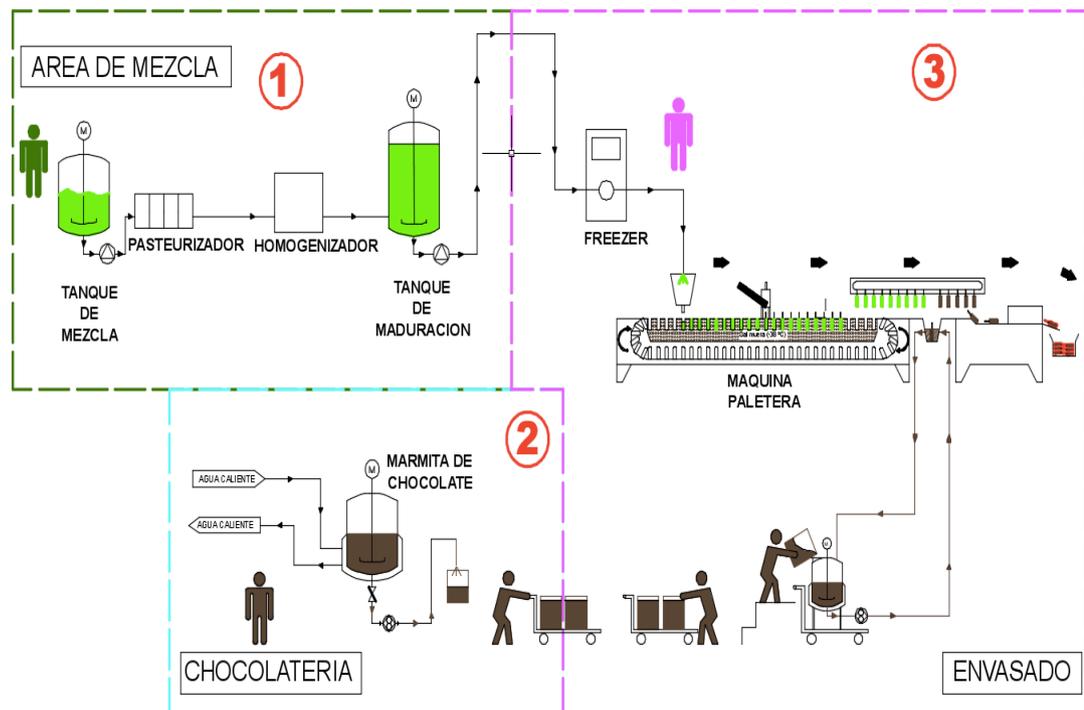
**Tabla 1.3** Propiedades físicas del chocolate

<b>Propiedades Físicas (45 °C)</b>	
Viscosidad (cP)	760
Índice de comportamiento-n	0,62
Coefficiente de consistencia-K (mPa.s)	574
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1320
Capacidad calorífica (J/Kg.K)	1670
Conductividad Térmica(J/s.m.K)	0,2

## **1.2 Descripción general del proceso de elaboración de helado de palito con cubierta de chocolate**

La elaboración del helado en palito con cobertura de chocolate involucra 3 áreas de producción específicas (Figura 1.1):

1. Área de mezcla
2. Área de chocolatería
3. Área de envasado



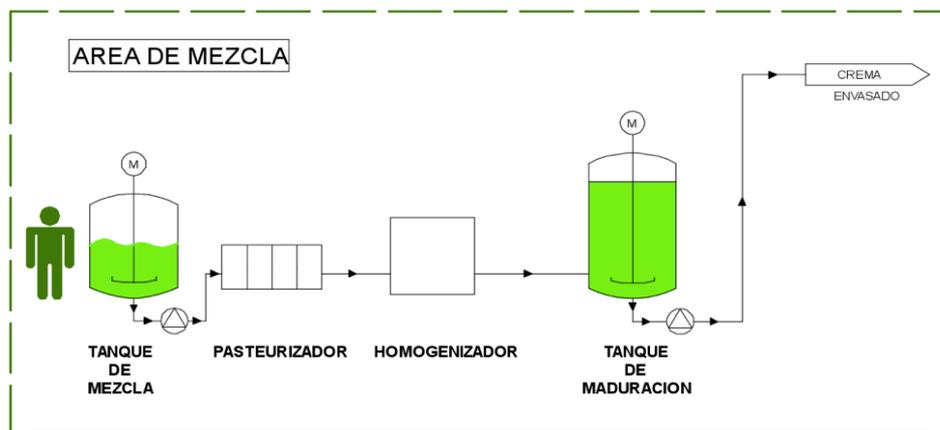
**Figura 1.1** Esquema general del proceso de producción de helado en palito con cobertura de chocolate

### **Área de mezcla**

Área dedicada a la operación de los equipos que realizan la mezcla de los componentes de la crema de helado (Figura 1.2), los equipos en cuestión son:

- **Tanque de mezcla:** Tanque de acero inoxidable con mezclador motorizado de alta velocidad donde se adicionan y mezclan los componentes sólidos y líquidos del helado (leche, azúcar, aglutinantes, etc.).

- **Pasteurizador:** Intercambiador de calor de placas que cumple con la doble función de pasteurizar y enfriar la crema proveniente de los tanques de mezcla.
- **Homogeneizador:** Equipo diseñado para aplicar alta presión sobre la crema para destruir sus partículas y así lograr la homogeneización de los componentes.
- **Tanque de maduración (también llamado tanque de envejecimiento):** Tanques de acero inoxidable con agitador motorizado de baja velocidad usado para estabilización, saborización y almacenamiento temporal de la mezcla antes de su envío hacia el área de envasado.



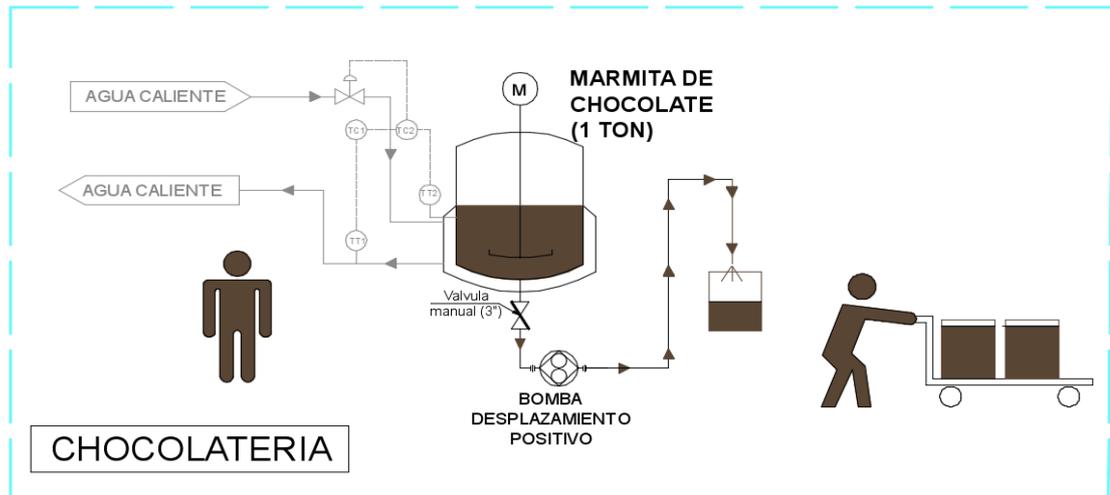
**Figura 1.2** Esquema general del proceso de mezcla, pasteurización-homogeneización y maduración en área de mezcla

### ***Área de chocolatería***

Área dedicada a la operación de los equipos que realizan el calentamiento del chocolate líquido caliente (Figura 1.3), los cuales son:

- **Marmita de chocolate:** Tanque de acero inoxidable, con capacidad másica de 1 TON, tiene calentamiento incorporado por medio de una chaqueta de agua caliente, su función es calentar lotes de 300 kg a 1 TON de chocolate líquido (que previamente a estado almacenado en estado líquido a 28°C en bodega), hasta una temperatura de 45°C para posteriormente mantener esta temperatura homogénea en toda la marmita a través del uso de un agitador.

Finalmente, una bomba de desplazamiento positivo, la cual se enciende manualmente, sirve para llenar varios baldes de 20 por vez, estos son transportados por un operador hacia el área de envasado usando una carretilla.



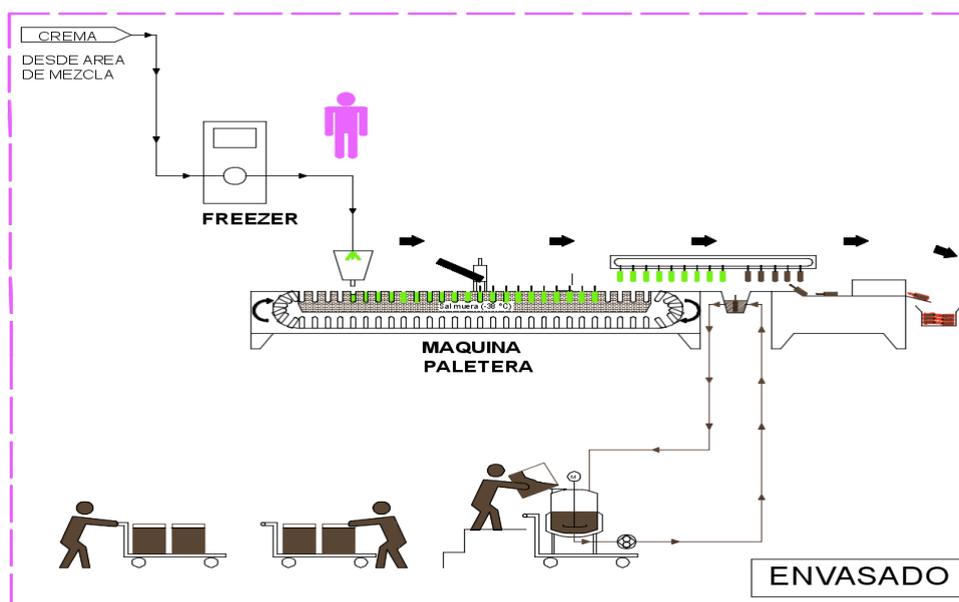
**Figura 1.3** Esquema general de proceso de calentamiento y transporte manual de chocolate líquido desde área de chocolatería

### **Área de envasado**

Área dedicada a la operación de los equipos usados para enfriar la crema, incorporar aire a la mezcla y moldearla en sus diversas presentaciones, envasarla y finalmente empacarla como helado terminado (Figura 1.4), en general, los equipos involucrados en este último proceso son:

- **Freezers:** Equipos encargados de enfriar la crema recibida desde los tanques de maduración (área de mezcla) a temperaturas bajo cero ( $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y durante este proceso de enfriamiento adicionalmente se les incorpora aire.

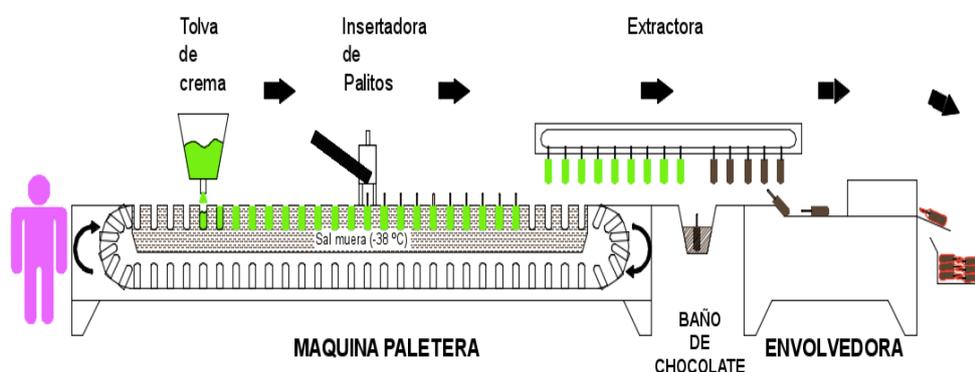
- **Olla chocolatera:** Es un tanque pulmón móvil, dispuesto junto a las máquinas envasadoras durante las producciones que requieran cubierta de chocolate.



**Figura 1.4** Esquema general de proceso de envasado de helados en la variedad de helados de palito con cubierta de chocolate

- **Paletera (Envasadora):** En la industria del helado se conoce como paleteras a las máquinas envasadoras dedicadas a dar forma a los helados de palito.

La paleta consta de un sistema de moldes de acero inoxidable continuos, los cuales son llenados a través de una tolva, la cual a su vez, recibe la crema fría desde los freezers. Los moldes llenos son llevados a través de la maquina paleta, la cual tiene un tanque de sal muera helada, donde se sumergen dichos moldes para solidificar la crema (Figura 1.5); luego, cuando los helados se encuentren suficientemente duros se les insertará un palito de madera a través de un dispositivo semiautomático denominado insertador de palitos o palillera. Al llegar al final del recorrido de los moldes, a lo largo del tanque de sal muera, los helados son extraídos por un sistema sin fin de tenazas, las cuales atrapan el palito, desmoldan el helado y si la variedad del helado es con cubierta de chocolate, procede el paso adicional de baño de chocolate, antes de ser enviados a una envolvedora.



**Figura 1.5** Esquema de envasado de helado palito con baño de chocolate

Al llegar al final del recorrido de los moldes, a lo largo del tanque de sal muera, los helados son extraídos por un sistema sin fin de tenazas, las cuales atrapan el palito, desmoldan el helado y si la variedad del helado es con cubierta de chocolate, procede el paso adicional de baño de chocolate, antes de ser enviados a una envolvedora.

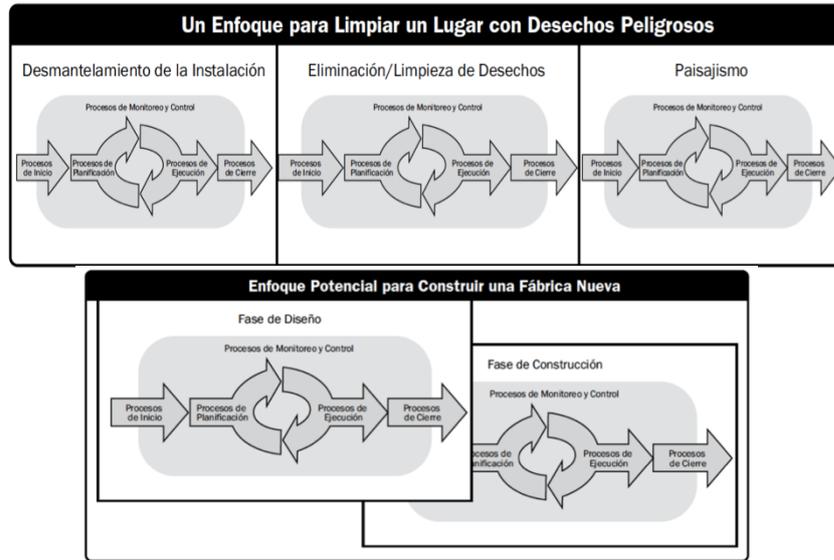
### 1.3 Marco general de metodología de Gestión de proyectos PMI

La dirección de proyectos, conforme el estándar de dirección de proyectos PMI, esta definida como la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto para cumplir con los requisitos del mismo, a su vez, un proyecto es definido como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único<sup>4</sup>.

Un proyecto desarrolla su ciclo de vida a través del tiempo, en fases, delimitadas por un inicio- fin y caracterizada por sus entregables (Figura 1.6).

---

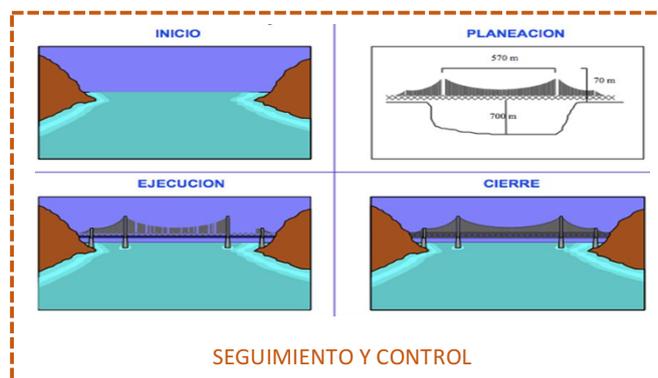
<sup>4</sup> Bibliografía [1] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Project management body of knowledge (2013), paginas 3-5.



Fuente: PMBOK, Quinta edición

**Figura 1.6** Ejemplos de fases de un proyecto: Proyecto de 3 fases secuencial y Proyecto de 2 fases superpuestas.

A su vez cada fase, se desarrolla a través de grupos de procesos (Figura 1.7).



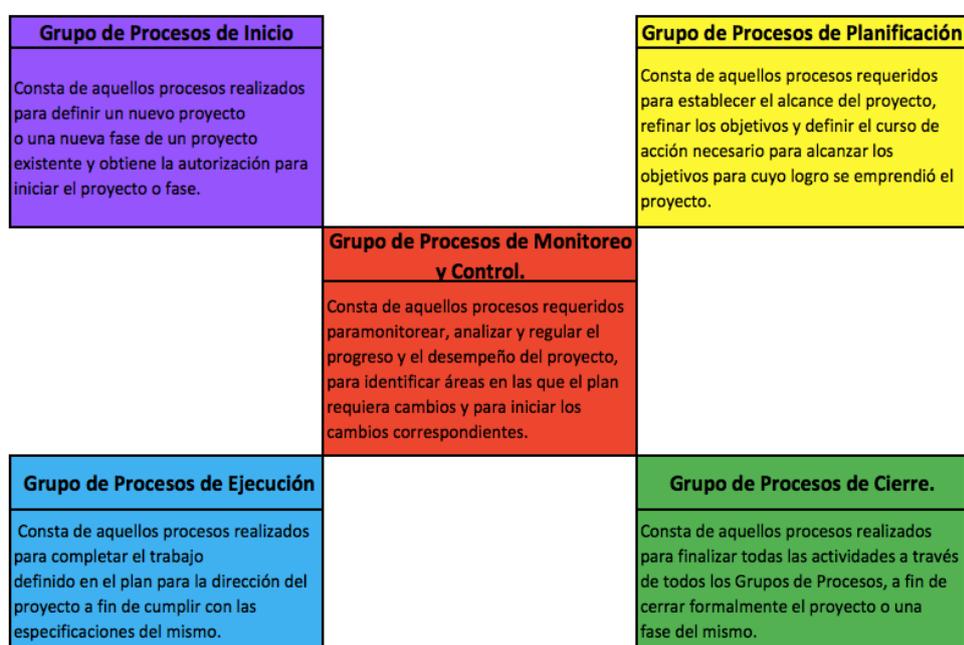
Fuente: Internet

**Figura 1.7** Ejemplo cotidiano del racional tras la definición de los grupos de procesos

### 1.3.1 Grupos de proceso

El PMI ha identificado y definido 47 procesos para la dirección de proyectos, dichos procesos se implementan en base a la complejidad del proyecto, no siendo mandatorio la aplicación total de los mismos.

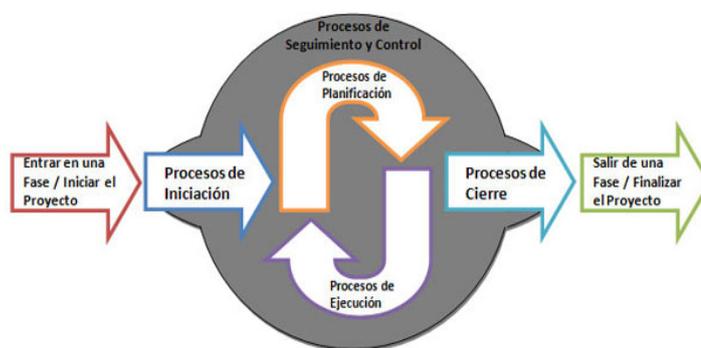
Estos procesos se asocian en cinco (5) grupos de proceso (Figura 1.8):



*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

**Figura 1.8** Definición PMI de cada grupo de proceso

Considerando un proyecto de una única fase podríamos observar la siguiente interacción entre los grupos de proceso (Figura 1.9):



*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

Figura 1.9 Interacción entre grupos de proceso

### 1.3.2 Áreas de conocimiento

El PMI define área de conocimiento como el área identificada de la dirección de proyectos definida por sus requisitos de conocimientos.

Las áreas de conocimiento definidas por el PMI son nueve (Tabla 1.4):

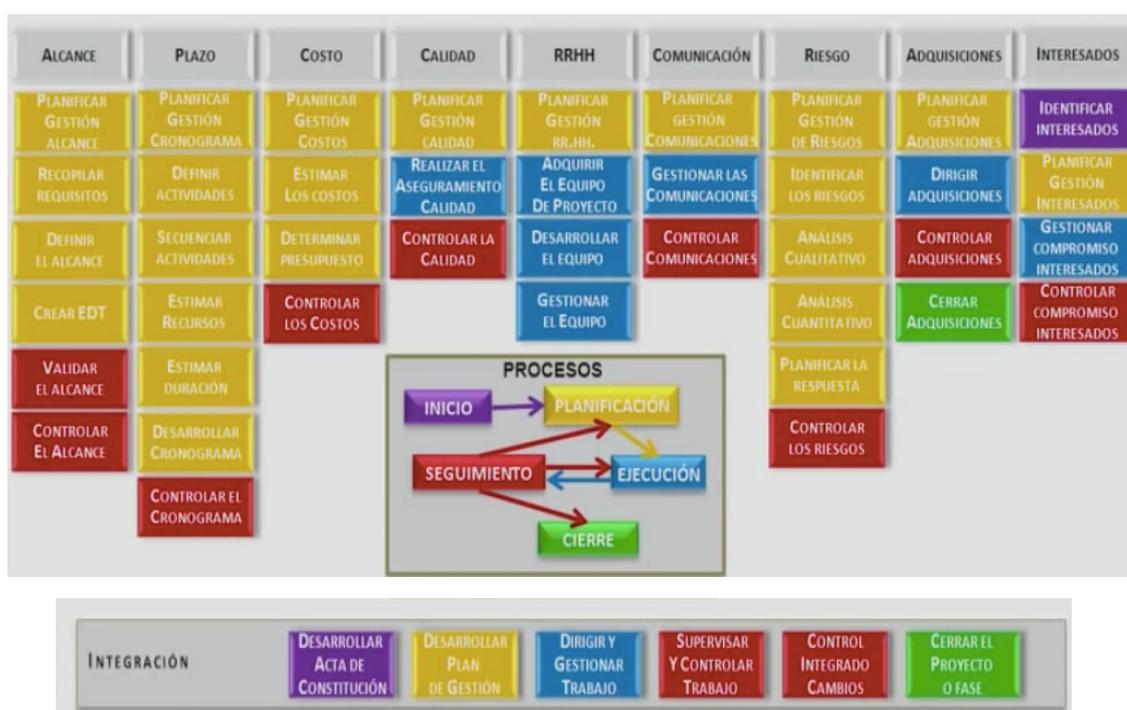
**Tabla 1.4** Áreas de conocimiento según el PMI

• INTEGRACION		
• Alcance	• Calidad	• RRHH
• Costo	• Riesgo	• Adquisiciones
• Tiempo	• Comunicaciones	• Interesados

*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

### 1.3.3 Relación entre Grupos de Proceso y Áreas de conocimiento

Una vez definidos los grupos de proceso, así como las áreas de conocimiento, podemos relacionarlas entre si, para poder tener claro el panorama global del proyecto para su gestión (Figura 1.10).



Fuente: Internet

Figura 1.10 Relación entre grupos de proceso y Áreas de conocimiento

# CAPÍTULO 2

## 2. PROCESOS DE INICIACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se plantean los grupos de procesos de iniciación y planificación del proyecto.

A través del proceso de iniciación se define el proyecto total de forma concreta así como sus participantes; y con los procesos de planificación se establece su alcance y se desglosa el entregable principal.

### 2.1 INICIACIÓN DEL PROYECTO

Una vez conocidos los antecedentes, teniendo conocimiento general del proceso productivo y la metodología a seguir, se procederá a entrar en materia e iniciar el proyecto, para lo cual primero se deben tener claros: la justificación, descripción, objetivos, etc. , además de identificar, registrar y gestionar a los interesados (Stakeholders) del proyecto.

El PMI define al documento que autoriza y consolida toda la información inicial del proyecto como ***Acta de Constitución del Proyecto*** y al documento que recopila a todos los interesados del proyecto como ***Matriz de registro de Interesados***.

### 2.1.1 Acta de constitución del proyecto

Es el documento que autoriza formalmente la existencia de un proyecto y confiere al director de proyecto la autoridad para asignar los recursos de la organización, para las actividades del proyecto y el establecimiento de un canal directo, para que la dirección general acepte formalmente y se comprometa con el proyecto.



*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

**Figura 2.1** Proceso de elaboración del Acta de Constitución del Proyecto

El acta en cuestión se elaboró por un equipo multidisciplinario: Departamentos de producción, seguridad, mantenimiento, proyectos, etc., tal como se detalla en los siguientes numerales:

### 2.1.1.1 Justificación y propósito

Por requerimiento interno de la compañía, se debe sustituir el transporte manual de chocolate por un sistema de bombeo, con el propósito de mejorar con esta acción principalmente temas de calidad, además de temas de seguridad y logística, entre otros.

### 2.1.1.2 Objetivos y Criterios de aceptación

Se definen objetivos SMART para el proyecto, es decir, específicos, medibles, alcanzables y en un tiempo de implementación definido, con criterios de aceptación claros (Tabla 2.1) :

**Tabla 2.1** Objetivos y criterios de aceptación del proyecto

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3. CRITERIOS DE ACEPTACION
<b>Seguridad:</b> 0 incidentes y/o accidentes durante la implementación del proyecto	Indicador de incidentes y accidente de seguridad asociado al proyecto, TRFR=0
<b>Calidad:</b> Cumplimiento con las normas de diseño, instalación sanitaria y buenas prácticas de manufactura	100 % Cumplimiento de normativas aplicables
<b>Alcance:</b> Cumplir con la funcionalidad aprobada para cumplir con el propósito del proyecto y requisitos aprobados	100 % de cumplimiento de requisitos aprobados
<b>Costo:</b> No tener sobre costo en la implementación total del proyecto	100 % de cumplimiento bajo presupuesto aprobado
<b>Tiempo:</b> Implementar el proyecto en 3 meses	100% de cumplimiento del cronograma

### 2.1.1.3 Enunciado de trabajo

El Enunciado del Trabajo del Proyecto es una descripción narrativa de los productos, servicios o resultados que debe entregar el proyecto, sobre la base de las necesidades de la empresa (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2** Enunciado de trabajo del proyecto

ENUNCIADO DE TRABAJO	
5. NECESIDAD DE NEGOCIO	6. PLAN ESTRATEGICO
<b>Seguridad:</b> Evitar caidas de baldes llenos de producto caliente (Chocolate 45°C ) durante la operación de carga y transporte	Producir sin accidentes laborables o impactos ecologicos
<b>Calidad:</b> Evitar la manipulacion y potencial contaminacion del chocolate	Internamente evitar no conformidades mayores y entregar a cliente externo un producto seguro y de calidad
<b>Costo:</b> Evitar costo asociado a un operador por turno	No tener costos de produccion que no generen valor al producto
<b>Tiempo:</b> Ahorrar 40 minutos por turno, los cuales actualmente son destinados a llenar, transportar y vaciar baldes de chocolate	No tener tiempos de produccion que no generen valor al producto
4. DESCRIPCION DEL PROYECTO	
El alcance del proyecto abarca y se limita a la selección, compra e instalacion de una bomba de chocolate acorde a las propiedades del producto y al diseño e instacion de una linea de tuberias de transporte de chocolate con enchaquetamiento de agua caliente.	

### 2.1.1.4 Caso de negocio

En este caso, aunque el proyecto podría generar ahorros asociados a evitar mano de obra y tiempos por traslado de los baldes de chocolate, este no es el beneficio central, pues la principal razón para implementar el proyecto es un requerimiento directo de la empresa (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3** Caso de negocio

8. CASO DE NEGOCIO	
Demanda de mercado <input type="checkbox"/>	Requisito Legal <input type="checkbox"/>
Necesidad de la organización <input checked="" type="checkbox"/>	Impacto Ecologico <input type="checkbox"/>
Solicitud del cliente <input type="checkbox"/>	Necesidad Social <input type="checkbox"/>
Avance Tecnologico <input type="checkbox"/>	Otro : <b>Se generara un ahorro colateral de 13000 USD anuales</b> , asociados principalmente a evitar mano de obra que no agrega valor al producto

### 2.1.1.5 Contexto del proyecto

El contexto general del proyecto está definido por el entorno que enmarcara el proyecto, incluye suposiciones y restricciones (Tabla 2.4), así como requisitos y riesgos de alto nivel (Documento completo ver Anexo A-1).

**Tabla 2.4** Supuestos y restricciones del proyecto

	9. SUPUESTOS	10. RESTRICCIONES
TECNICOS/ ALCANCE	La marmita de chocolate actual mantiene el nuevo tipo de chocolate a 45 °C	No se incluye el cambio de la marmita de chocolate (La actual tiene 1 año de uso)
	El tanque de agua caliente usado actualmente para la marmita y que servira para la chaqueta de agua caliente de la tuberia, entregara el agua a 60 °C y permitira una temperatura de retorno de agua a temperatura no menor de 45 °C	No se incluye dentro del alcance un nuevo sistema de generacion de agua caliente (La actual tiene 1 año de uso)
	La marcas de la bomba de chocolate sera marca Waukesha.	Solo usar marcas y proveedores aprobados
TIEMPO	La bomba tiene un tiempo de entrega promedio es de 2 semanas en planta	El tiempo de entrega de la bomba no debe alterar la fecha de entrega del proyecto
MATERIALES	Las tuberias seran de medidas estandar y estaran disponibles localmente	Las tuberias estaran disponibles localmente
RECURSOS	El diseño del sistema de trasvase sera revisado por grupo multidisciplinario (Proyectos, Mantenimiento, Seguridad, Produccion y Calidad ) antes de su implementacion.	Solo se podran realizar reuniones multidisciplinarias 1 hora a la semana
PRESUPUESTO /ENTREGA	El presupuesto y plazos de entrega de equipos y materiales estan basados en historicos	La desviacion del presupuesto aprobado no sera mayor del 12% permitido/ El proyecto debera ser entregado en 3 meses desde su aprobacion, Junio 2012

### 2.1.1.6 Cronograma y Presupuesto

Preliminarmente se realiza una propuesta de tiempos y costos (Tabla 2.5), la cual deberá ser revisada una vez que se listen los requisitos detallados y se planifique el alcance.

**Tabla 2.5** Cronograma y presupuesto de alto nivel

RESUMEN DEL CRONOGRAMA- HITOS Y PRESUPUESTO						
13. FECHA DE INICIO		14. FECHA PROGRAMADA DE FINALIZACION				
lunes, 02 de marzo de 2015		lunes, 1 de junio de 2015				
15. HITOS PRINCIPALES						
1. Revision de memoria de calculo y plano de la instalacion propuesta (Grupo Multidisciplinario)		2. Orden de compra de equipos y contrataciones (Proyectos/Dpto. de Compras)				
3. Inicio de instalaciones/Fin de instalaciones/Pruebas						
16. PRESUPUESTO						
EQUIPOS PRINCIPALES		INSTALACIONES		INGENIERIA EXTERNA		OTROS
Descripcion	Costo (USD)	Descripcion	Costo (USD)	Descripcion	Costo (USD)	Imprevistos (USD)
Bomba de chocolate	10000	Línea de tuberías de chocolate enchaquetadas, aisladas y montadas	30000	N/A	N/A	2450
Bomba de agua caliente	1000	Línea de tuberías de agua caliente aisladas	3000			
		Instalacion electrica y control de las bombas	5000			
<b>INVERSION FINAL EQUIPOS</b>	<b>11000</b>	<b>INVERSION FINAL INSTALACIONES</b>	<b>38000</b>	<b>INVERSION FINAL INGENIERIA</b>	<b>0</b>	
<b>INVERSION TOTAL</b>				<b>51450</b>		

### 2.1.1.7 Responsables del Proyecto

Se nombra formalmente al director de proyectos y el título de sponsor se formaliza a través de la firma del **Acta de constitución del proyecto** (Documento completo ver Anexo A-1).

### 2.1.2 Identificación de Interesados del proyecto

En este proceso (Figura 2.2) se identifica y registra a todos los interesados del proyecto en una matriz, para evaluar sus necesidades, su poder e influencia sobre el proyecto y de este modo establecer la mejor estrategia para gestionar a cada uno de ellos (Tabla 2.6, Documento completo ver Anexo A-2).



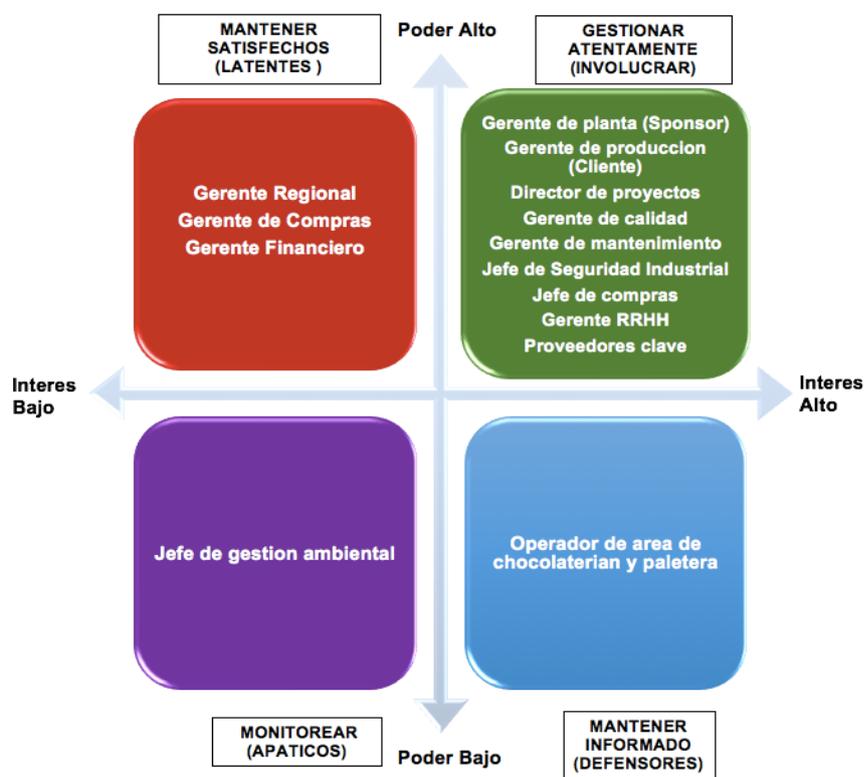
*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

**Figura 2.2** Proceso de identificación de los interesados del proyecto

**Tabla 2.6** Registro de interesados (Alto Poder/Alto Interés)

<b>REGISTROS DE INTERSADOS</b>			
<b>PROYECTO:</b>	DISEÑO DE SISTEMA DE TRASVASE DE CHOCOLATE LIQUIDO		
<b>RESPONSABLE:</b>	MARIO TERAN JARAMILLO		
<b>IDENTIFICACION DE INTERSADOS</b>			
1. NOMBRE	2. PUESTO	3. LOCALIZACION	4. ROL EN EL PROYECTO
M.A.	Gerente de Planta	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Sponsor
C.P.	Gerente de Produccion	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Cliente
M.T.	Jefe de Proyectos	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Director de proyectos
F.Q.	Gerente de calidad	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Asesor de diseño higienico
E.S.	Gerente de mantenimiento	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Facilitador de recurso tecnico
I.N.	Jefe de Seguridad Industrial	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Asesor de seguridad
N.G.	Jefe de compras	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Encargado de Adquisiciones
S.C.	Gerente RRHH	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Encargado de RRHH
Proveedor 1	Proveedor bombas	Guayaquil	Proveedor de marca aprobada
Proveedor 2	Proveedor tuberia sanitaria y montaje	Quito	Proveedor especializado en montaje

Luego, se elabora la matriz de Poder vs. Interés para agrupar a los diferentes interesados, en base al grado de definición, influencia e impacto que su injerencia podría afectar el curso del proyecto (Figura 2.3; Anexo A-3):



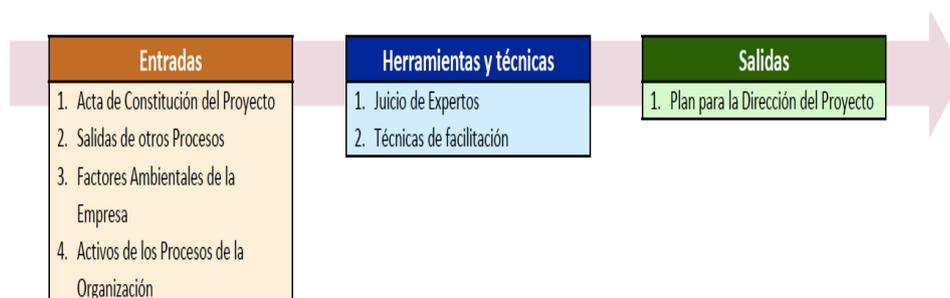
**Figura 2.3** Matriz Poder vs. Interés de los interesados del proyecto

## 2.2 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Establece el alcance del esfuerzo, define nuestros objetivos y define acciones para alcanzarlos.

### 2.2.1 Plan de dirección del proyecto

Es el proceso que sirve de integración e índice de todos los planes subsidiarios y está asociado a cada área de conocimiento requerida por el proyecto (Figura 2.4).



*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

**Figura 2.4** Proceso de elaboración del plan para la dirección del proyecto

Por ser un proyecto pequeño, en este caso se ha definido internamente que los planes subsidiarios a desarrollar son los básicos de cualquier proyecto:

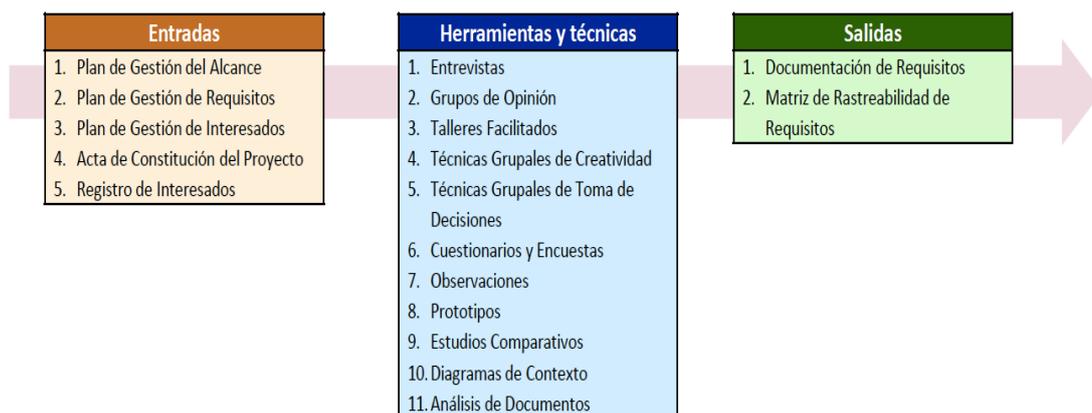
- Planificación del alcance
- Planificación del cronograma
- Planificación de los costos

### 2.2.1.1 Planificación de alcance

Son los grupo de procesos que definen los requisitos, inclusiones y exclusiones del proyecto, con la participación del equipo completo, es decir, multidisciplinario (Documento completo Anexo A-4)

#### 2.2.1.1.1 Recopilar requisitos

Es el proceso de determinar, documentar y gestionar las necesidades y los requisitos de los interesados, para cumplir con los objetivos del proyecto (Figura 2.5).



*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

**Figura 2.5** Proceso de recopilación de requisitos del proyecto

### 2.2.1.1.2 Definir alcance

Es el proceso de desarrollar una descripción detallada del proyecto y del producto (Figura 2.6), para esto se elabora el Documento de enunciado o declaración del alcance del proyecto.



*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

**Figura 2.6** Proceso de definición de alcance del proyecto

En general, en la acta de constitución se dio forma general del alcance del proyecto, la cual debe detallarse con mayor grado de detalle en este punto (Tabla 2.7; Documento completo Anexo A-5) .

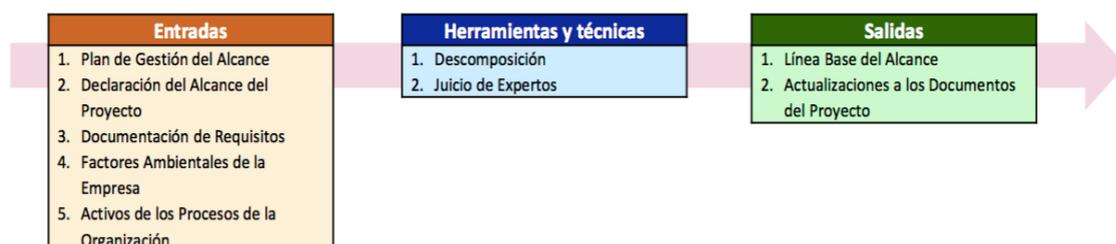
**Tabla 2.7** Enunciado de alcance del proyecto

ENUNCIADO DEL ALCANCE	
PROYECTO:	DISEÑO DE SISTEMA DE TRASVASE DE CHOCOLATE LIQUIDO
RESPONSABLE:	MARIO TERAN JARAMILLO
ALINEAMIENTO DEL PROYECTO	
1. OBJETIVOS ESTRATÉGICOS DE LA ORGANIZACIÓN	2. PROPÓSITO DEL PROYECTO
El objetivo principal es ingresar una nueva variante de chocolate como parte de un requerimiento de la organización para la categoría de helados tipo palito para el 2016.	Con la implementación del proyecto se debe poder transportar la nueva variedad de chocolate desde el área de chocolatería hasta el área de envasado sin manipulación del mismo.
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	
<p><b>Alcance:</b> El proyecto se limita al diseño e implementación de una nueva bomba apropiada para el nuevo tipo de chocolate, inclusión de filtro en línea, selección del diámetro de la tubería para el transporte del producto, diseño del enchaquetado con agua caliente de dicha tubería, diseño de línea de agua caliente y selección de bomba de agua.</p> <p><b>Costo:</b> El presupuesto preliminar del proyecto es de <b>55 KUSD</b>, sin embargo puede redefinirse conforme se validen los costos contra el alcance.</p>	<p><b>Tiempo:</b> Se debe implementar el proyecto en máximo <b>3 meses</b> desde su aprobación.</p> <p><b>Calidad:</b> No debe existir desviaciones entre el entregable final del proyecto y la documentación de requisitos, con sus especificaciones, acordada con todos los interesados.</p>
4. FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO DEL PROYECTO	
1. Participación de todos los interesados clave del proyecto para la elaboración completa de la documentación de requisitos y EDT del Proyecto.	2. Seguimiento de avance de entregables y comunicación permanente con todos los interesados del proyecto a través de reuniones periódicas acordadas.
3. Verificar disponibilidad de materiales y recursos de contratistas durante la duración del proyecto.	4. Identificar a proveedores de bombas y tuberías grado sanitario.
5. Recopilar buenas prácticas implementadas en otras plantas similares.	6. Validar presupuesto del proyecto con valores reales provenientes de cotizaciones.

### 2.2.1.1.3 Crear EDT

Es el proceso de subdividir los entregables y el trabajo del proyecto en componentes más pequeños y más fáciles de manejar en un esquema jerárquico denominado **Estructura de desglose de trabajo** o **EDT** (Figura 2.8; Documento completo Anexo A-6).

La descripción de los entregables de trabajo se conoce como **Diccionario EDT** (Documento completo Anexo A-7) y junto a la **Declaración del alcance**, forman lo que el PMI define como la **línea base del alcance** (Figura 2.7).



Fuente: PMBOK, Quinta edición 1

**Figura 2.7** Proceso de crear la línea base del proyecto

En este proyecto desarrollaremos los entregables de los bloques de diseño y gestión (Tablas 2.8 y 2.9) que son los objetivos de la presente tesis, se comentara e incluirá temas de instalación(Tablas 2.10) como referencia solamente.

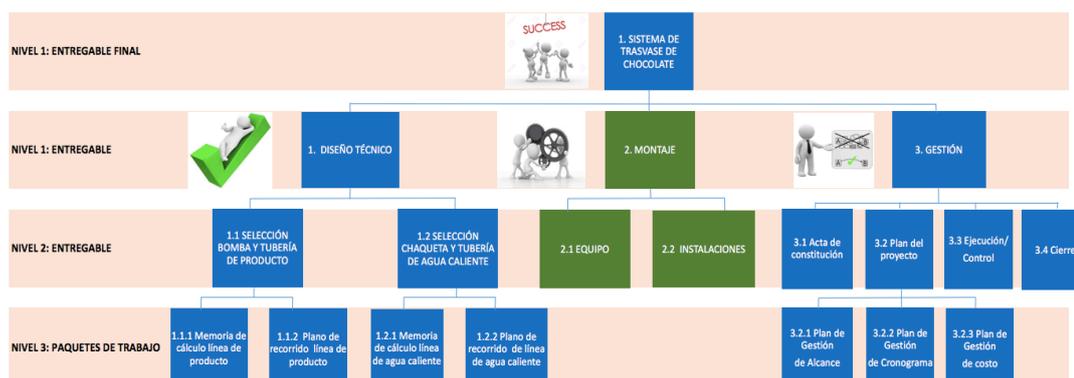


Figura 2.8 EDT del proyecto

Tabla 2.8 Diccionario EDT: DISEÑO

DISEÑO		
DICCIONARIO EDT: SISTEMA TRASVASE DE CHOCOLATE		
Componente de la EDT	Título del componente	Descripción del componente
1	DISEÑO FINAL EQUIPOS DE PRODUCTO Y AGUA CALIENTE	Ingeniería de detalle de bomba de chocolate, bomba de agua caliente, tuberías de agua caliente y tubería encaquetada de producto.
1.1	SELECCIÓN BOMBA Y TUBERÍA DE PRODUCTO	Selección de tipo de bomba de chocolate, capacidad y potencia . Selección de material de tubería y diámetro.
1.1.1	Memoria de cálculo línea de producto	Recopilación de especificaciones de propiedades del producto (chocolate). cálculo de tubería de acorde a requerimientos del producto a transportar y recorrido.
1.1.2	Plano de recorrido de línea de producto/Esquema del sistema	Toma de medidas en sitio y elaboración de planos en ACAD 3D de la línea de tuberías de producto
1.2	SELECCIÓN CHAQUETA Y TUBERÍA DE AGUA CALIENTE	Selección de tipo de bomba de agua caliente, capacidad y potencia . Selección de material de tubería y diámetro.
1.2.1	Memoria de cálculo línea de agua caliente	cálculo de bomba y tubería de agua caliente acorde a flujo asociado a transferencia de calor requerida
1.2.2	Plano de recorrido de línea de agua caliente/Esquema del sistema	Toma de medidas en sitio y elaboración de planos en ACAD 3D de la línea de tuberías de producto

Tabla 2.9 Diccionario EDT: GESTIÓN

GESTIÓN		
DICCIONARIO EDT: SISTEMA TRASVASE DE CHOCOLATE		
3	GESTIÓN DE PROYECTOS	Administración de recursos a través de procesos de inicio, planificación, ejecución, control y cierre para obtener un resultado
3.1	ACTA DE CONSTITUCIÓN	Acta de formalización de la autorización del proyecto y del director
3.2	PLAN DEL PROYECTO	Plan de integración de todos los planes
3.2.1	PLAN DE GESTIÓN DEL ALCANCE	Plan para establecer y documentar como el alcance sera definido, validado y controlado
3.2.2	PLAN DE GESTIÓN DEL CRONOGRAMA	Establecer políticas, procedimientos y documentación para planificar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma
3.2.3	PLAN DE GESTIÓN DEL COSTO	Establecer políticas, procedimientos y documentación para planificar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma
3.3	EJECUCIÓN	Dirigir , gestionar, realizar y llevar a cabo el trabajo del proyecto, proporcionar los entregables y brindar información sobre el desempeño del trabajo
3.4	CIERRE	Proceso de culminar todas las actividades de todos los grupos de proceso

Tabla 2.10 Diccionario EDT: INSTALACIÓN

INSTALACIÓN		
DICCIONARIO EDT: SISTEMA TRASVASE DE CHOCOLATE		
Componente de la EDT	Título del componente	Descripción del componente
2	MONTAJE DEL SISTEMA	Sistema instalado y operativo
2.1	EQUIPO	Compra de equipo. Instalacion electromecánica
2.2	INSTALACIONES	Contratacion de instalación (materiales y mano de obra).Planos de montaje, típicos de soldadura. Coordinacion de labores y seguridad. Montaje

### 2.2.1.2 Planificación del cronograma

Este proceso permite listar las actividades totales para producir el entregable final del proyecto, para identificar la interacción de las actividades y paquetes de trabajo y los recursos requeridos para cada una de ellas.

#### 2.2.1.2.1 Definir y secuenciar actividades

En el proceso de definir actividades (Figura 2.9), se listan las actividades necesarias para generar los entregables, acordados en la EDT del proyecto.



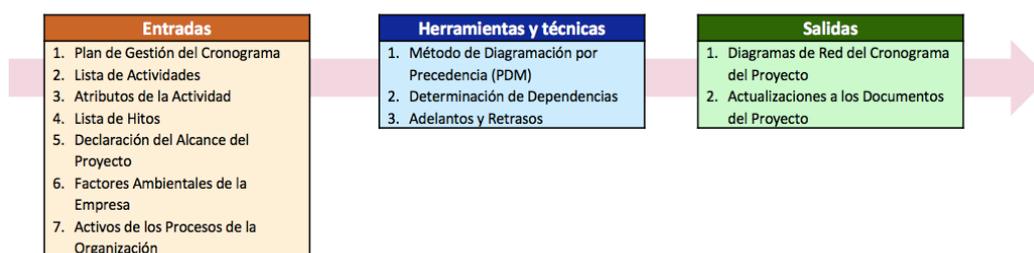
*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

**Figura 2.9** Proceso de definición de actividades de cronograma del proyecto

Luego en el proceso de secuenciar (Figura 2.10), se deben evaluar las interrelaciones entre las actividades listadas y el tipo de restricciones que presentan entre sí, las cuales podrían ser: Estrictas (Lógica dura) o Flexibles y basadas en nuestra experiencia (Lógica suave), es decir, se

### Estimar recursos, duración y desarrollo de cronograma

evalúa si las actividades se deben realizar en un orden estricto u si por experiencia se puede decidir si algunas de ellas se pueden realizar simultáneamente, en nuestro proyecto este proceso lo realizamos directamente al desarrollar el cronograma, usando como herramienta el Gantt.

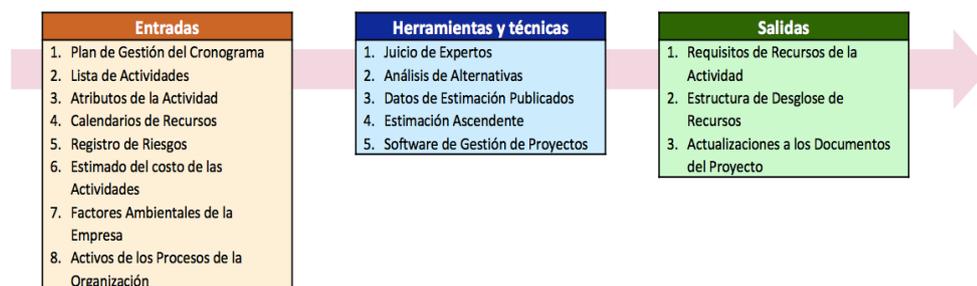


*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

**Figura 2.10** Proceso de secuenciación de actividades de cronograma del proyecto

#### 2.2.1.2.2 Estimar recursos, duración y desarrollo de cronograma

Los procesos de estimación de recursos y duración (Figura 2.11 y 2.12), complementan los listados de actividades (basados en la EDT) y nos permite consolidar el esfuerzo requerido de los interesados del proyecto, así como los tiempos de respuesta esperados para cada actividad y cada paquete de trabajo (Tabla 2.11 y 2.12).



Fuente: PMBOK, Quinta edición

**Figura 2.11** Proceso de estimación de recursos de cronograma del proyecto



Fuente: PMBOK, Quinta edición

**Figura 2.12** Proceso de estimación de duración de actividades de cronograma del proyecto

**Tabla 2.11** Actividades de Diseño y Gestión: Estimación de recursos y duración:

<b>Sistema de transporte de chocolate por tuberías</b>				
<b>GRUPOS DE PROCESOS</b>	<b>Entregable-Actividad</b>	<b>Recurso</b>	<b>Cargo</b>	<b>Duración</b>
<b>INICIACIÓN</b>	Elaboración de acta de constitución	C.P.	Gerente de Producción (Sponsor)	4 días
	Elaboración de matriz de interesados	M.T	Jefe de Proyectos (Director de Proyectos)	4 días
<b>PLANIFICACIÓN</b>	<b>Planificación de gestión de alcance</b>			
	Elaboración de enunciado de alcance	TODOS	Equipo multidisciplinario	1 día
	<b>Planificación de costos</b>			
	Elaboración de presupuesto	M.T. (Director de proyectos)/N.G./P1 /P 2	Proveedor bombas/Jefe de compras/Proveedor tubería sanitaria y montaje	1 día
	<b>Planificación del cronograma</b>			
	Elaboración de Gantt	M.T. (Director de proyectos)	Jefe de Proyectos	1 día
<b>EJECUCIÓN (DISEÑO)</b>	<b>Diseño de bomba y líneas de transporte de producto (chocolate)</b>			
	Memoria de cálculo de línea de producto	M.T. (Director de proyectos)	Jefe de Proyectos	5 días
	Toma de medidas y verificaciones en sitio	M.T. (Director de proyectos)	Jefe de Proyectos	1 día
	Elaboración de plano propuesto y esquema del sistema	M.T. (Director de proyectos)	Jefe de Proyectos	3 días
	Elaboración de plano final	M.T. (Director de proyectos)	Jefe de Proyectos	1 día
	<b>Diseño de chaqueta de tubería de producto, bomba y líneas de agua caliente</b>			
	Memoria de cálculo de línea de agua caliente	M.T. (Director de proyectos)	Jefe de Proyectos	5 días
	Toma de medidas y verificaciones en sitio	M.T. (Director de proyectos)	Jefe de Proyectos	1 día
	Elaboración de plano propuesto y esquema del sistema	M.T. (Director de proyectos)	Jefe de Proyectos	3 días
	Elaboración de plano final	M.T. (Director de proyectos)	Jefe de Proyectos	1 día
	Revisión de plano de instalación propuesta con equipo multidisciplinario	TODOS	Equipo multidisciplinario	1 día
<b>CIERRE</b>	Control final de EDT, cumplimiento de requisitos y objetivos	TODOS	Equipo multidisciplinario	2 días

**Tabla 2.12** Actividades de Instalación: Estimación de recursos y duración

<b>Adquisiciones de equipo e instalación</b>			
Orden de compra de equipos	E.S./N.G.	Gerente de mantenimiento/Jefe de compras	<b>1 día</b>
Transporte y recepción de equipos	E.S./N.G./P1	Gerente de mantenimiento/Jefe de compras/Proveedor 1	<b>41 días</b>
Contratación de trabajos	E.S./N.G.	Gerente de mantenimiento/Jefe de compras	<b>7 días</b>
<b>Pre-trabajos en talleres</b>			
Cortes y prearmados de tuberías enchaquetadas en taller	P2	Proveedor 2	<b>7 días</b>
Corte, roscado y prearmados de tuberías en acero al carbono	P2	Proveedor 2	<b>3 días</b>
Elaboración de soporterías	P2	Proveedor 2	<b>3 días</b>
<b>Trabajo en planta</b>			
Desmontaje electromecánico de bomba actual	P2	Proveedor 2	<b>1 día</b>
Desmontaje de tuberías y accesorios actuales	P2	Proveedor 2	<b>1 día</b>
Montaje electromecánico de bomba de producto y bomba de agua caliente	P2	Proveedor 2	<b>1 día</b>
Ingreso, ubicación de tuberías de producto en planta y ajustes	P2	Proveedor 2	<b>3 días</b>
Ingreso, ubicación de tuberías de agua caliente en planta y conexión con tuberías enchaquetadas	P2	Proveedor 2	<b>3 días</b>
Montaje de válvulas y filtro	P2	Proveedor 2	<b>1 día</b>
Prueba hidrostática de tubería de producto y agua caliente	E.S./M.T./P2	Gerente de mantenimiento/Jefe de proyectos/Proveedor 2	<b>1 día</b>
Prueba con producto	E.S./M.T./P1	Gerente de mantenimiento/Jefe de proyectos/Proveedor 1	<b>1 día</b>
Aislamiento	P2	Proveedor 2	<b>2 días</b>

**EJECUCION  
(MONTAJE)**

Finalmente se desarrolla el cronograma, con las actividades, duraciones, responsables y secuenciándolas usualmente como un Diagrama de Gantt, herramienta ampliamente utilizada en Ingeniería (Figura 2.13 , Documento completo ANEXO A- 8).

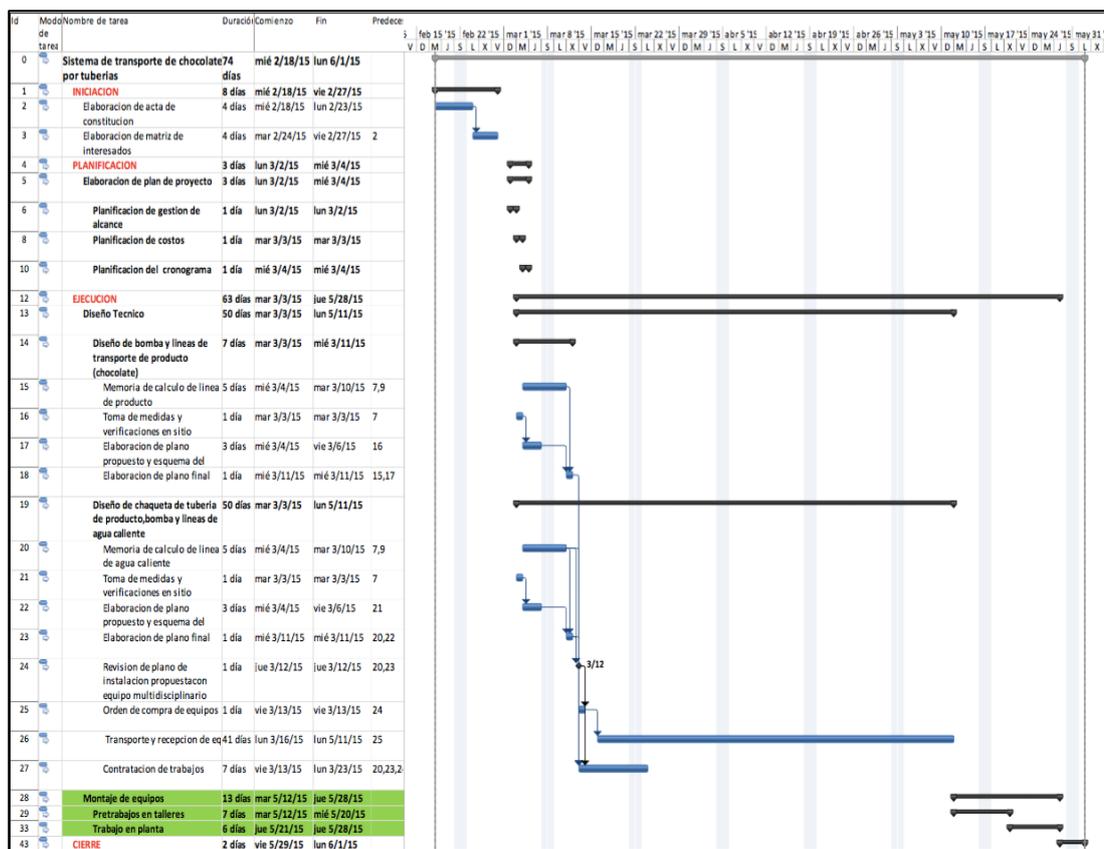


Figura 2.13 Gantt del proyecto

Se debe verificar como las estimaciones de tiempo se comportan en el Gantt y si es necesario equilibrar el nivel de esfuerzo en ciertas actividades criticas, identificando las que en contraste puedan tener holguras. Para realizar este análisis se revisa la ruta crítica del cronograma (Figura 2.14, Documento completo Anexo A-9).

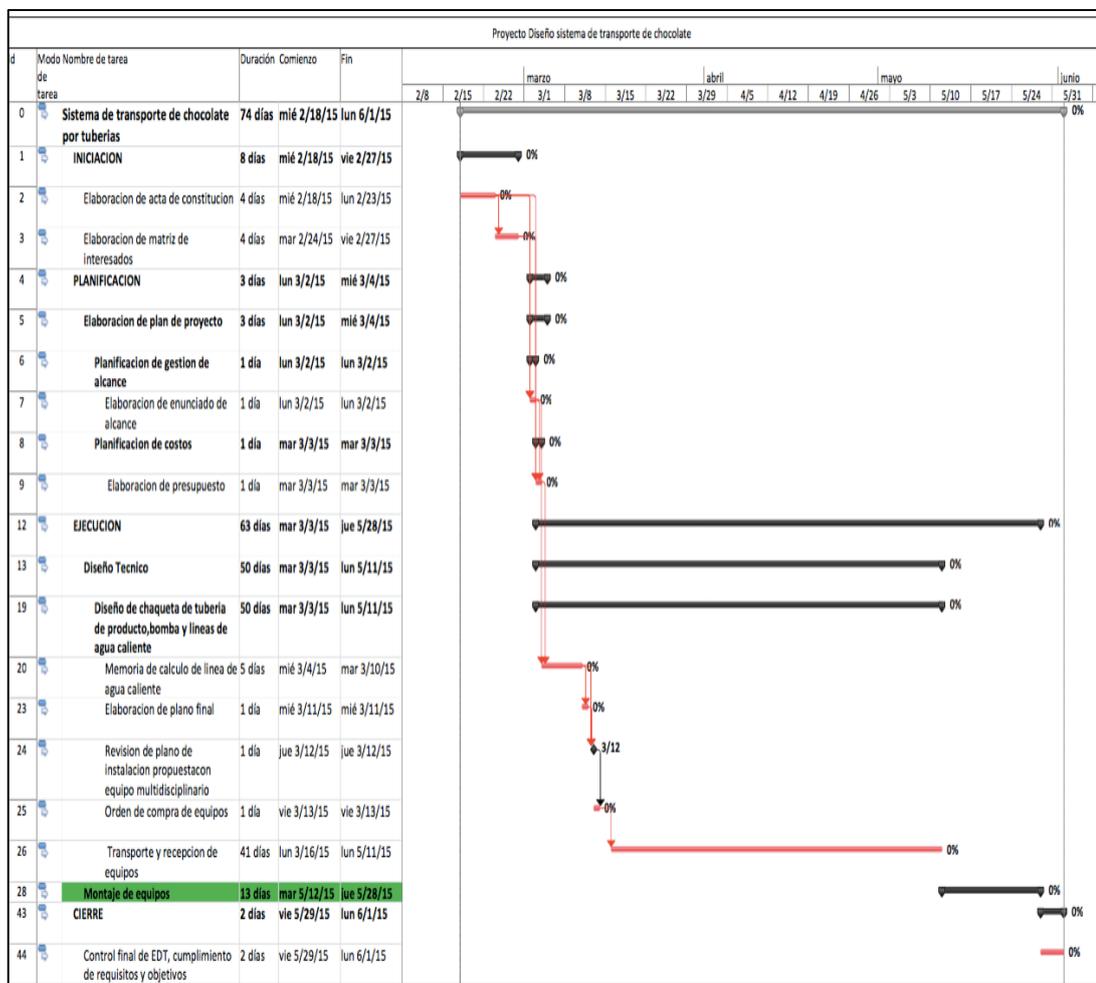


Figura 2.14 Ruta critica del proyecto

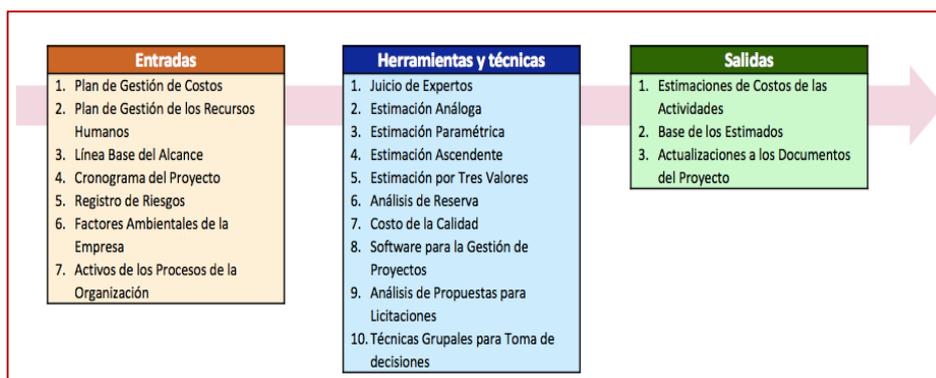
La ruta critica establece la línea de actividades cuya interdependencia merece mayor seguimiento para evitar retrasos en el proyecto.

### 2.2.1.3 Planificación del costo

En la planificación del costo solo se evaluaron los costos directos y variables del proyecto, pues la ingeniería será interna y esta ya pertenece a los costos fijos de planta, además la financiación del mismo fue directa y total, en la fecha acordada para inicio en el **Acta de Constitución**.

#### 2.2.1.3.1 Estimar costo

En el Acta de constitución se genero un primer estimado grueso del costo del proyecto, ya en esta etapa de planificación el PMI indica que las estimaciones deberían estar entre un -10 y 25%, para ello se cuenta con el proceso de estimación (Figura 2.15).



*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

**Figura 2.15** Proceso de estimación de costos del proyecto

En este caso, las actividades de Montaje (Procesos de Ejecución), son las que justifican el rubro de inversión del proyecto (Tabla 2.13), pues el diseño como se ha indicado previamente, es interno.

A la primera estimación realizada, debe añadirse los costos por **Reservas de Contingencias** para aquellos riesgos que se hallan podido identificar durante la iniciación, el PMI establece que en este punto el rango de exactitud de las estimaciones debería estar entre un -5 % a un +10%<sup>5</sup>, para el proyecto se considero aceptable un 9% de la inversión total.

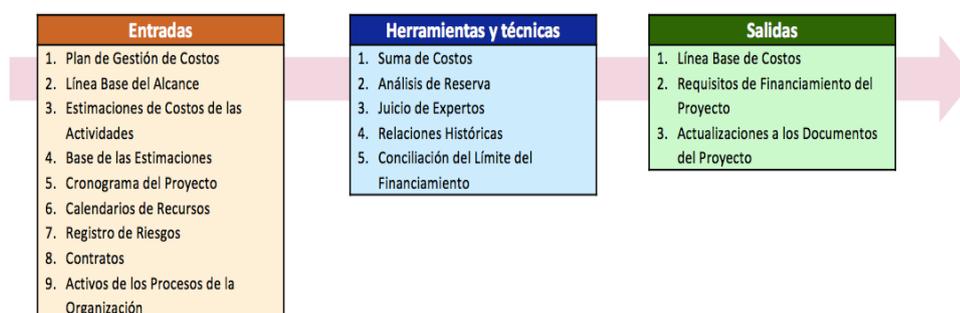
**Tabla 2.13** Estimación de costos del proyecto.

	DESCRIPCIÓN	UNIDADES (UN, GLOBAL ó m)	COSTO (USD)	SUBTOTAL (USD)	
EQUIPO	Bomba de lóbulos higiénica	1	10000	11700	21%
	Filtro estático higiénico	1	1000		
	Bomba de agua caliente	1	700		
INSTALACIÓN	Línea de tuberías de chocolate enchaquetadas, aisladas y montadas	GLOBAL	30000	38000	70%
	Línea de tuberías de agua caliente aisladas	GLOBAL	3000		
	Instalacion eléctrica y control de las bombas	GLOBAL	5000		
RESERVA (CONTINGENCIA)	Imprevistos asociado a estimación de costos de instalaciones	GLOBAL	4970	4970	9%
TOTAL (USD)				54670	

<sup>5</sup> Bibliografía [1] PMI, PMBOK Quinta edición, pagina 201

### 2.2.1.3.2 Determinar presupuesto

Luego de realizar la estimación, debe acordarse la reserva de gestión con el sponsor conforme las políticas de la empresa, normalmente esta oscila entre el 10 al 15% y debe dedicarse a los riesgos no identificados hasta la planificación, bajo aprobaciones especiales.



*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

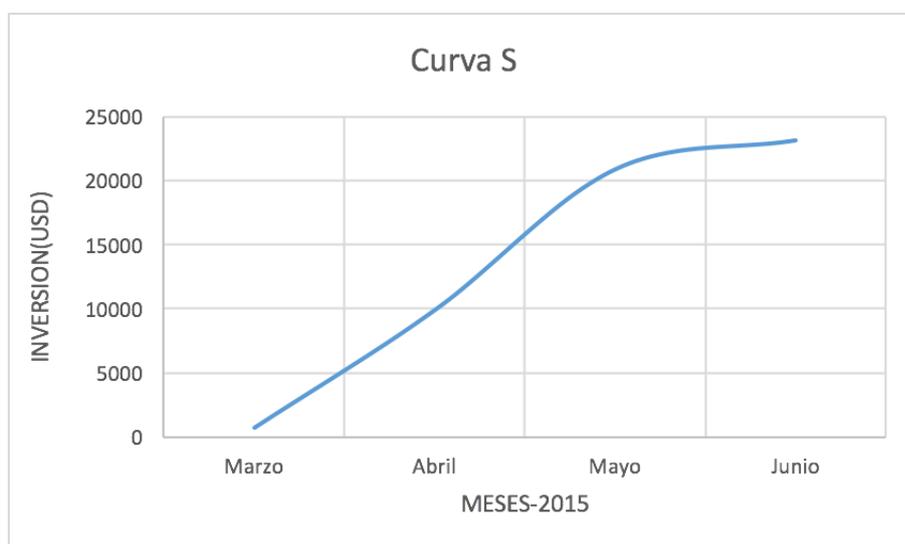
Figura 2.16 Proceso de determinación de presupuesto del proyecto

Este último costo se añade a los ya calculados y se tiene el presupuesto final del proyecto.

En este proceso se calendarizaran los gastos del proyecto y esto generará la **Línea base de costos** (Tabla 2.14 y Figura 2.17):

**Tabla 2.14** Planificación de gastos durante el proyecto

PLANIFICACIÓN DE GASTOS				
	Marzo	Abril	Mayo	Junio
EQUIPO	700	0	11000	0
INSTALACIÓN	0	9900	9900	18200
RESERVA	0	0	0	4970



**Figura 2.17** Línea base de costos del proyecto

# **CAPÍTULO 3**

## **3. PROCESOS DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO**

Luego de finalizar los procesos de iniciación y planificación, en el presente capítulo se procederá a realizar las actividades que permitirán proporcionar los entregables previamente definidos y acordados.

### **3.1 Dirigir y gestionar trabajo del Proyecto**

Es el proceso de liderar y llevar a cabo el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto, así como de implementar los cambios aprobados, con el fin de alcanzar los objetivos del proyecto.

### **3.2 Ejecución de paquetes de trabajo definidos en la EDT**

En este caso los entregables definidos durante los procesos de planificación asociados al alcance, formalizados en la EDT y descritos en el diccionario EDT, fueron:



De las mediciones realizadas en planta y del plano de recorridos, se puede tabular las longitudes de cada tubería para los cálculos próximos.

**TABLA 3.1** Longitudes de tuberías de chocolate y agua caliente

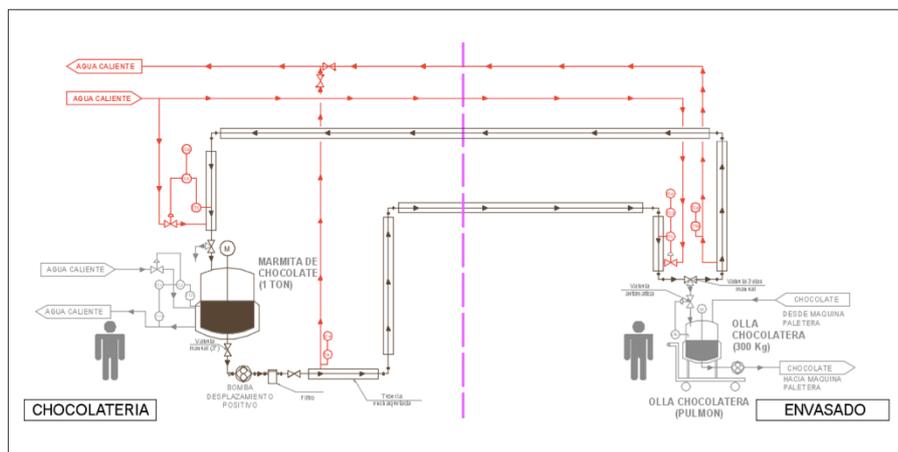
LONGITUD DE TUBERIAS (mm)					
CHOCOLATE		AGUA CALIENTE			
		LAZO 1		LAZO 2	
IDA	RETORNO	IDA	RETORNO	IDA	RETORNO
30060	31100	29930	8940	6680	29660
61160		38870		36340	

### 3.2.1.1 Elaboración de esquema de línea de producto

A partir de la matriz de los requisitos y de la planificación del alcance, se procede a elaborar el esquema, en el cual se reflejan 2 situaciones de operación del sistema:

*Recirculación:*

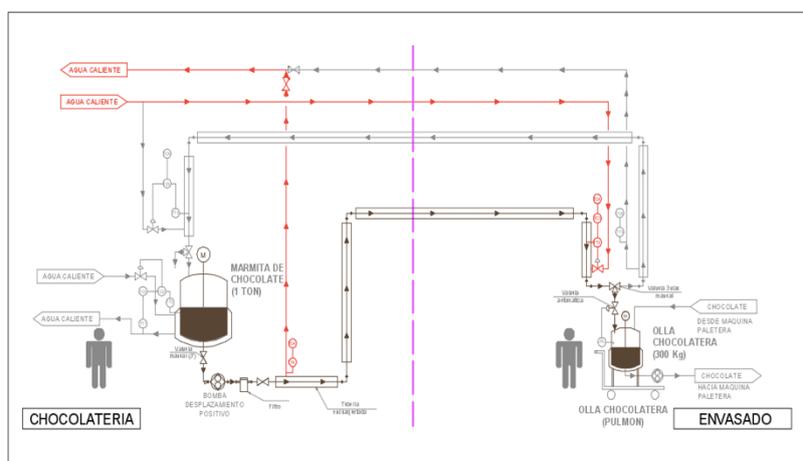
Para optimizar la energía térmica del sistema, evitar variaciones innecesarias de temperatura que puedan afectar las especificaciones originales del chocolate y tener disponibilidad inmediata del chocolate en el área de envasado, el sistema estará en proceso de recirculación constante (Figura 3.3).



**Figura 3.3** Esquema de flujo de chocolate en recirculación

*Descarga:*

Al requerirse chocolate en el envasado, todo el caudal que previamente se encontraba recirculando se derivará hacia la olla chocolatera, es decir que solo la línea de tuberías de ida (Chocolatería-Envasado) estaría llena (Figura 3.4).



**Figura 3.4** Esquema de flujo de chocolate en descarga hacia olla chocolatera

### 3.2.1.2 Elaboración de esquema de línea de agua caliente

El esquema propuesto para agua caliente, ha sido elaborado para funcionar como 2 lazos independientes, con el fin de tener un mayor control en el calentamiento del chocolate y conservación de energía del sistema:

1. Lazo acompañamiento tubería Chocolatería-Envasado (ida)
2. Lazo acompañamiento tubería Envasado- Chocolatería (retorno)

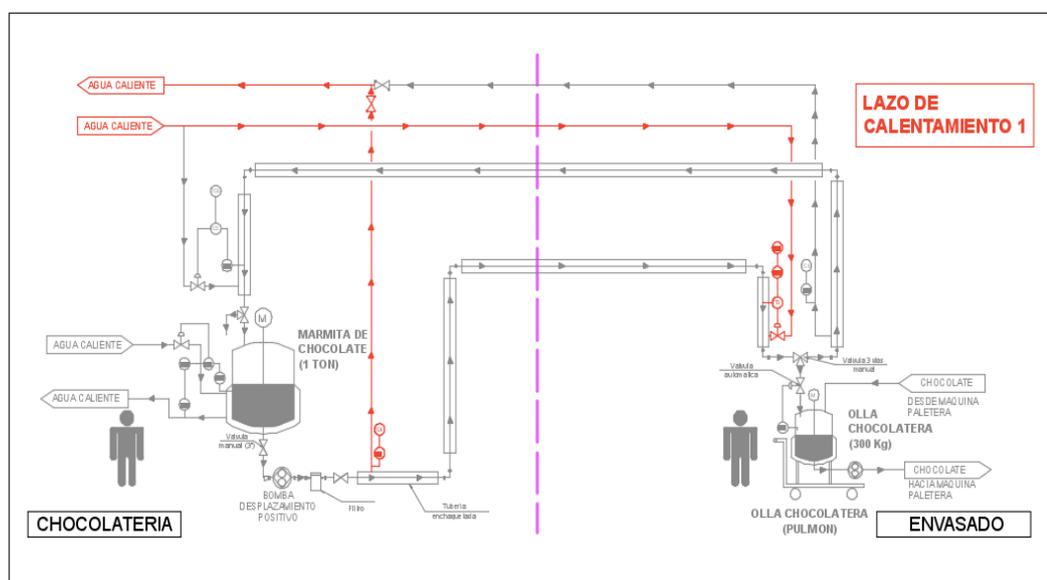


Figura 3.5 Lazo de calentamiento 1 (Tramo de ida)

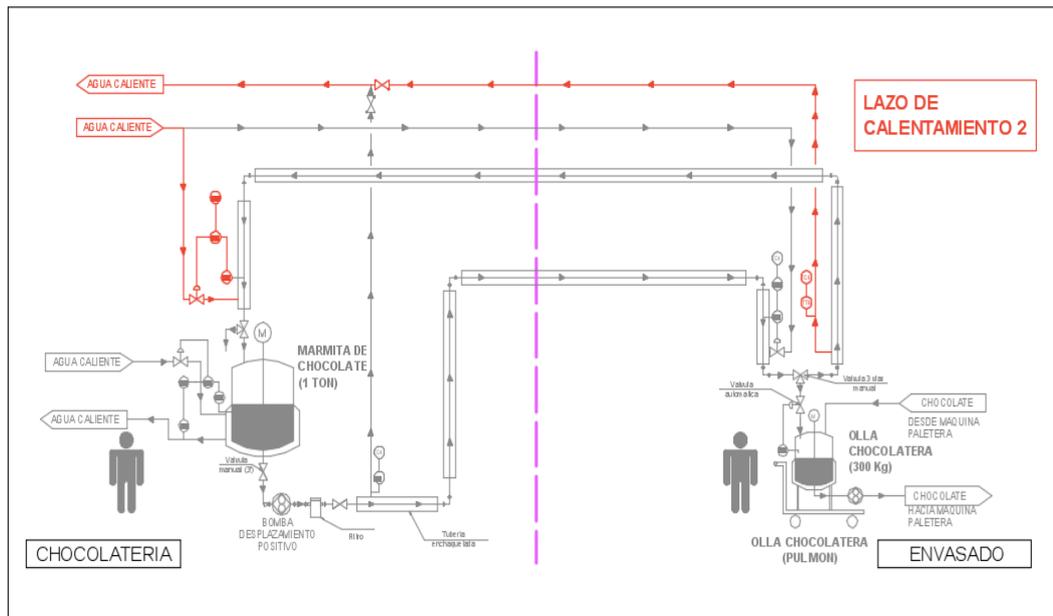


Figura 3.6 Lazo de calentamiento 2 (Tramo de retorno)

### 3.2.2 Elaboración de memoria de cálculo de línea de producto y agua caliente

#### 3.2.2.1 Diseño de línea de producto y bomba

La marmita de calentamiento de chocolate posee una salida de 3", la cual será conectada a la nueva bomba, lo correcto es mantener este diámetro o reducir lo menos posible el ingreso a la succión.

Revisando los requisitos, se sabe que la marca aprobada para bombas alimenticias es, Waukesha Cherry- Burrell (SPX FLOW), por ello, al remitirse a su tabla de bombas por puerto, preliminarmente se identifica las bombas con puertos de 3" y 2 ½" (Tabla 3.2) , sin embargo al revisar las especificaciones asociadas en el índice de curvas (Tabla 3.3), estarían sobredimensionadas para el caudal  $0.00076 \frac{m^3}{s} \left( 2.74 \frac{m^3}{s} \right)$ .

Tabla 3.2 : Medida de bombas higiénicas Waukesha y sus diámetros de conexión

Sanitary	
Pump Size	Line Size
6	1" or 1-1/2"
15	1-1/2"
18	1-1/2" or 2"
30	1-1/2" or 2"
45	2"
60	2-1/2"
130	3"
180	3"
210	3"
220	4"
320	6"
420	6"
520	8"

Fuente: Waukesha pumps-Engineering Manual

**Tabla 3.3** Índice de curvas de bombas Waukesha

**Curve Index**

Pump Series Size	Displacement Per Revolution	Nominal Capacity To *	Inlet and Outlet	Pressure Range Up To** (See Note 1 below)	Curve Number	Page Number
<b>Universal 1</b>						
006	0.0082 Gal (0.031 Liter)	7 GPM (1.8 m3/hr)	1" or 1-1/2"	200 PSI (13.8 bar)	95-07133	93
015	0.0142 Gal (0.054 Liter)	10 GPM (2.3 m3/hr)	1-1/2"	200 PSI (13.8 bar)	95-07134	94
018	0.029 Gal (0.110 Liter)	17 GPM (3.9 m3/hr)	1-1/2" or 2"	200 PSI (13.8 bar)	95-07135	95
030	0.060 Gal (0.227 Liter)	36 GPM (8.2 m3/hr)	1-1/2" or 2"	200 PSI (13.8 bar)	95-07136	96
060	0.153 Gal (0.579 Liter)	90 GPM (20.4 m3/hr)	2-1/2"	200 PSI (13.8 bar)	95-07137	97
130	0.254 Gal (0.961 Liter)	150 GPM (34.1 m3/hr)	3"	200 PSI (13.8 bar)	95-07138	98
220	0.522 Gal (1.976 Liter)	310 GPM (70.4 m3/hr)	4"	200 PSI (13.8 bar)	95-07139	99
320	0.754 Gal (2.854 Liter)	450 GPM (102 m3/hr)	6"	200 PSI (13.8 bar)	95-07140	100
<b>Universal II</b>						
006-L2	0.0082 Gal (0.031 Liter)	8 GPM (1.8 m3/hr)	1" or 1-1/2"	300 PSI (20.7 bar)	95-07075	101
015-L2	0.0142 Gal (0.054 Liter)	11 GPM (2.5 m3/hr)	1-1/2"	250 PSI (17.2 bar)	95-07076	102
018-L2	0.029 Gal (0.110 Liter)	20 GPM (4.5 m3/hr)	1-1/2" or 2"	200 PSI (13.8 bar)	95-07077	103
030-L2	0.060 Gal (0.227 Liter)	36 GPM (8.2 m3/hr)	1-1/2" or 2"	250 PSI (17.2 bar)	95-07078	104
045-L2	0.098 Gal (0.371 Liter)	58 GPM (13.2 m3/hr)	2"	450 PSI (31.0 bar)	95-07106	105
060-L2	0.153 Gal (0.579 Liter)	90 GPM (20.4 m3/hr)	2-1/2"	300 PSI (20.7 bar)	95-07079	106
130-L2	0.253 Gal (0.958 Liter)	150 GPM (34.1 m3/hr)	3"	200 PSI (13.8 bar)	95-07080	107
180-L2	0.380 Gal (1.438 Liter)	230 GPM (52.2 m3/hr)	3"	450 PSI (31.0 bar)	95-07107	108
210-L2 213-L2	0.502 Gal (1.900 Liter)	300 GPM (68.1 m3/hr)	4"	500 PSI (34.5 bar)	95-07156	109
220-L2	0.521 Gal (1.972 Liter)	310 GPM (70.4 m3/hr)	4"	300 PSI (20.7 bar)	95-07081	110
320-L2	0.752 Gal (2.847 Liter)	450 GPM (102 m3/hr)	6"	300 PSI (20.7 bar)	95-07132	110
<b>Universal Lobe</b>						
018-UL	0.033 Gal (0.125 Liter)	33 GPM (7.5 m3/hr)	1-1/2" or 2"	200 PSI (13.8 bar)	95-07089	112
030-UL	0.071 Gal (0.269 Liter)	71 GPM (16.1 m3/hr)	1-1/2" or 2"	300 PSI (20.7 bar)	95-07082	113
060-UL	0.153 Gal (0.579 Liter)	120 GPM (27.3 m3/hr)	2-1/2"	300 PSI (20.7 bar)	95-07083	114
130-UL	0.253 Gal (0.958 Liter)	170 GPM (38.6 m3/hr)	3"	200 PSI (13.8 bar)	95-07084	115
220-UL	0.502 Gal (1.900 Liter)	300 GPM (68.1 m3/hr)	4"	200 PSI (13.8 bar)	95-07085	116
320-UL	0.878 Gal (3.324 Liter)	520 GPM (118.1 m3/hr)	6"	200 PSI (13.8 bar)	95-07145	117
<b>UHC</b>						
420-UHC 423-UHC	1.619 Gal (6.129 Liter)	640 GPM (145.4 m3/hr)	6"	200 PSI (13.8 bar)	95-07086	118
520-UHC 523-UHC	2.375 Gal (8.990 Liter)	830 GPM (188.5 m3/hr)	8"	150 PSI (10.3 bar)	95-07087	119
<b>5000</b>						
5040	0.060 Gal (0.227 Liter)	36 GPM (8.2 m3/hr)	1-1/2"	200 PSI (13.8 bar)	95-07092	120
5050	0.153 Gal (0.579 Liter)	90 GPM (20.4 m3/hr)	2"	200 PSI (13.8 bar)	95-07141	121
5060	0.254 Gal (0.961 Liter)	150 GPM (34.1 m3/hr)	3"	200 PSI (13.8 bar)	95-07142	122
5070	0.440 Gal (1.666 Liter)	280 GPM (59.1 m3/hr)	4"	200 PSI (13.8 bar)	95-07143	123
5080	0.754 Gal (2.854 Liter)	450 GPM (102 m3/hr)	6"	200 PSI (13.8 bar)	95-07144	124

\* Note: Most applications are not suitable for continuous operation at maximum capacity shown.

\*\* Note: Contact Application Engineering for higher pressure applications.

Fuente: Waukesha pumps-Engineering Manual

Sin embargo, en el caudal requerido en el índice de curvas, se observa que las bombas de la serie 18 tienen como mayor diámetro de puerto 2", el cual se tomará como partida para realizar el diseño y evaluarlo.

### 3.2.2.1.1 Cálculo hidráulico de tuberías

Siendo el chocolate un fluido no Newtoniano, las ecuaciones necesarias para establecer su modelo de comportamiento en el interior de las tuberías tienen fuertes influencias de datos empíricos, lo cuales han sido generalizados por diferentes autores en base a sus propiedades de fluencia con respecto al esfuerzo, es decir reológicas.

Para los siguientes cálculos, propiedades reológicas (Tabla 3.4) tales como índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) y coeficiente de consistencia ( $K$ ) serán parte de las ecuaciones más conocidas de los fluidos continuos, las cuales estarán generalizadas para no Newtonianos bajo el modelo de la Ley de potencia.

**Tabla 3.4** Propiedades físicas del chocolate a 45 °C

Chocolate					
$n$	$K$	$c_p$ (J/kg.K)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Pa.s)	$k$ (W/m.K)
0,62	0,574	1670	1320	0,76	0,2

Se deben considerar todas las longitudes y número de accesorios que se incluirán en el diseño (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 : Especificaciones del sistema de línea de producto

SUCCION		DESCARGA		
DIMENSIONES		DIMENSIONES		
Altura de succion – $h_{succion}$ (m)	0.3	Altura de descarga – $h_{descarga}$ (m)	Marmita (Chocolateria)	1.9
Longitud de succion – $L_{succion}$ (m)	1		Olla Chocolatera (Envasado)	1
Diametro de succion – $D_{i\,succion}$ (m)	0.072	Longitud de descarga – $L_{descarga}$ (m)	Chocolateria a Chocolateria	61
			Chocolateria a Envasado	31
Diametro de descarga $D_{i\,-descarga}$ (m)				2"
ACCESORIOS		ACCESORIOS		
Valvula manual mariposa – 3"	1	Filtro	1	
Codos <sub>90°</sub>	1	Codos <sub>90°</sub>	13	
Reduccion <sub>3" a 2"</sub>	1	Valvulas	3	

Flujo másico de chocolate:

$$\frac{\dot{m}}{\rho} = Q = \frac{3600 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1320 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left( 0.00076 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

SUCCIÓN:

Área transversal de la tubería (Descarga de la marmita):

$$A_{tub} = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times (0.072)^2}{4} = 0.004 \text{ m}^2$$

Velocidad media:

$$\bar{u}_{3''} = \frac{Q}{A} = \frac{0,00076 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.004 \text{ m}^2} = 0.186 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se calcula el número de Reynolds y Reynolds crítico, los cuales utilizando la ley de potencia como modelo de viscosidad para fluidos no Newtonianos se expresan bajo la siguiente ecuación:<sup>6</sup>

$$\begin{aligned} \text{Re}_{3'', PL} &= \left( \frac{D^n (\bar{u})^{2-n} \rho}{8^{n-1} K} \right) \left( \frac{4n}{3n+1} \right)^n \\ &= \left( \frac{(0.072)^{0.62} (0.186)^{2-0.62} (1320)}{8^{0.62-1} (0.574)} \right) \left( \frac{4(0.62)}{3(0.62)+1} \right)^{0.62} \\ &= 89.55 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned} (\text{Re}_{PL})_{\text{critico}} &= 2100 + 875(1-n) = 2100 + 875(1-0.62) \\ &= 2432.5 \end{aligned} \tag{3.2}$$

---

<sup>6</sup> Bibliografía [2] Steffe, J.F., Bioprocessing pipelines: Rheology and Analysis, pagina 49

Siendo  $Re_{PL} < (Re_{PL})_{critico}$ , es decir,  $89.55 < 2432.5$ ,

Se puede concluir que el flujo es laminar en la succión.

Se calculan los coeficientes de pérdida por fricción en los accesorios<sup>7</sup>, bajo el modelo de potencia y el caudal requerido:

$$k_f = \frac{k_1}{Re_{PL}} + k_\infty \left(1 + \frac{1}{D_{inch}}\right) \quad (3.3)$$

; Para valores  $k_1$  y  $k_\infty$  (ANEXO B – 1)

$$k_{f,salida} = \frac{160}{89.55} + 0.5(1) = 2.46$$

$$k_{f, valvula\ 3"} = \frac{800}{89.55} + 0.25 \left(1 + \frac{1}{2.83}\right) = 9.27$$

$$k_{f,codo\ 3"} = \frac{800}{89.55} + 0.25 \left(1 + \frac{1}{2.83}\right) = 9.27$$

---

<sup>7</sup> Bibliografía [2] Steffe, J.F., Bioprocessing pipelines: Rheology and Analysis, pagina 63

Cálculo de coeficiente en reducción: <sup>8</sup>

$$\begin{aligned}
 k_{f,contraccion} &= \left[ 1.2 + \frac{160}{Re_{3",PL}} \right] \left[ \left( \frac{D_{1,int}}{D_{2,int}} \right)^4 - 1 \right] \left[ 1.6 \sin \left( \frac{\theta}{2} \right) \right] \\
 &= \left[ 1.2 + \frac{160}{89.55} \right] \left[ \left( \frac{0.0720}{0.0475} \right)^4 - 1 \right] \left[ 1.6 \sin \left( \frac{17}{2} \right) \right] = 3.02 \quad (3.4)
 \end{aligned}$$

Pérdida total por accesorios

$$\begin{aligned}
 \sum \frac{k_f \bar{u}_3^2}{2} &= \left[ \frac{\bar{u}_3^2}{2} (k_{f,entrada} + 1 k_{f, valvula\ 3"} + 1 k_{f, codo\ 3"} \right. \\
 &\quad \left. + 1 k_{f, contraccion\ 3"-2"} \right) \right] = 0,6 \frac{J}{kg} \quad (3.5)
 \end{aligned}$$

Se aplica ecuación de Blasius (flujo laminar) para determinar el factor de fricción de Fanning:

$$f_{lam,3"} = \frac{16}{Re_{PL}} = \frac{16}{89.54} = 0.179$$

---

<sup>8</sup> Bibliografía [] Hooper, W.B. Chemical Engineering pagina 89-92

$$\frac{2\bar{u}_{3''}^2 L_{3''}}{D_{3''}} = \frac{2(0.179)(0.186)^2(1)}{0.072} = 0.17 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (3.6)$$

Se determina la pérdida total a través de la tubería y sus accesorios:

$$\sum F_{3''} = \sum \frac{k_f \bar{u}_{3''}^2}{2} + \sum \frac{2\bar{u}_{3''}^2 L_{3''}}{D_{3''}} = 0.77 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (3.7)$$

Se aplica la ecuación de Bernoulli entre la salida del tanque (punto 1) y la entrada a la bomba (punto 2) :

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{\bar{u}_1^2}{\alpha} + g z_1 + W = \frac{p_{2(\text{entrada})}}{\rho} + \frac{\bar{u}_2^2}{\alpha} + g z_2 + \sum F_{\text{TOTAL}}$$

$$p_1 = p_{\text{atm}}$$

$$z_2 = z_1 (\text{asumimos en la misma línea de acción})$$

$$u_1 = 0 ; W = 0 (\text{aun no hay trabajo de bomba})$$

Se calcula el factor de corrección de energía cinética<sup>9</sup>:

$$\alpha = \frac{2(2n + 1)(5n + 3)}{3(3n + 1)^2} = \frac{2(2(0.62) + 1)(5(0.62) + 3)}{3(3(0.62) + 1)^2} = 1.114 \quad (3.8)$$

Finalmente, se tiene la **presión de entrada a la bomba**:

$$(p_2)_{\text{pump entrance}} = \rho \left[ \frac{p_1}{\rho} + \frac{\overline{u_2^2}}{\alpha} + \sum F \right] = 102195 \text{ Pa (14.8 psi)} \quad (3.9)$$

Y el **NPSH<sub>A</sub>**:

$$\text{NPSH}_A = \frac{(p_2)_{\text{pump entrance}} - p_v}{\rho g} = \frac{102195 - 9594}{1320 \times 9.8} = 7.16 \text{ m} \quad (3.10)$$

Siendo  $p_v = 9594 \text{ Pa}$ , para agua a  $45 \text{ }^\circ\text{C}$

Para las mismas características de succión, pero diferentes caudales se puede observar que el flujo se mantiene laminar y el NPSH<sub>A</sub> no varía considerablemente.

---

<sup>9</sup> Bibliografía [2] Steffe, J.F., Bioprocessing pipelines: Rheology and Analysis, pagina 34

**Tabla 3.6** Comportamiento de presión de entrada a bomba y NPSHa con diferentes caudales

<b>SUCCION</b>						
CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	REYNOLDS	Sumatoria de kf	f laminar chocolate	Sumatoria de perdidas (J/Kg)	Pressure pump entrance (Pa)	NPSHa (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	101350,00	7,09
0,0005	50,25	41,82	0,32	0,45	101960,18	7,14
<b>0,00076</b>	<b>89,55</b>	<b>25,03</b>	<b>0,18</b>	<b>0,61</b>	<b>102195,17</b>	<b>7,16</b>
0,001893	315,50	9,66	0,05	1,35	103386,28	7,25
0,002524	469,26	7,66	0,03	1,84	104229,65	7,32
0,00315	637,09	6,58	0,03	2,39	105211,85	7,39
0,003785	820,85	5,91	0,02	3,02	106362,43	7,48
0,004416	1015,49	5,46	0,02	3,73	107663,43	7,58

#### DESCARGA:

Siendo el recorrido de mayor longitud el de recirculación, sobre esta longitud se realizara el cálculo de cabezal total y potencia requerida, además debe considerarse en la descarga, la pérdida de presión por la inclusión del filtro (requisito).

Cálculo de perdida de presión en filtro:

Los datos del filtro están asociados a flujo de agua, por ello debe realizarse su asociación con el flujo de chocolate por semejanza.

**Tabla 3.7** Caudal vs. Caída de presión en filtro

(Datos con agua)

Caudal (m3/s)	$\Delta P$ filtro (Pa)
0,00000	0
0,00050	132
0,00076	201
0,00189	500
0,00252	1000
0,00315	1500
0,00379	2000
0,00442	2500

*Fuente: Russel Inc.*

Por semejanza, usando los datos de (Tabla 3.7):

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{\text{chocolate}} = \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{\text{agua}} \left(\frac{f_{\text{chocolate}}}{f_{\text{agua}}}\right) \quad (3.11)$$

$$f_{\text{lam, chocolate}} = \frac{16}{N_{\text{Re, PL}}} = 0,073$$

$$Re_{\text{agua}} = \frac{\rho \bar{u} D}{\mu} = 20335$$

Donde : 20 °C  $\rho_{\text{agua}} = 998.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  y  $\mu_{\text{agua}} = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$

Siendo el flujo de agua, turbulento, se aplica la ecuación de Blasius:

$$f_{\text{turb } 2'', \text{agua}} = \frac{0.0791}{(\text{Re}_{\text{agua}})^{0.25}} = 0.007$$

Entonces:

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{\text{filtro chocolate}} = \left(\frac{201}{998.2}\right)_{\text{filtro agua}} \left(\frac{0.07}{0.007}\right) = 2.2 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (3.12)$$

Luego de calcular las pérdidas a través del filtro, por codos y longitud de tubería (61m), tal como se realizó en la succión, se sabe que la pérdida total en la descarga será de  $42 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ .

**Tabla 3.8:** Pérdida total en descarga evaluada a diferentes caudales

CAUDAL	2"					
	filtro (J/Kg)	kf			f tuberia	Perdidas en descarga (J/Kg)
		codos	valvula	salida		
0,00000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00050	2,35	76,13	7,69	1,00	0,13	32,90
<b>0,00076</b>	<b>2,23</b>	<b>44,57</b>	<b>4,82</b>	<b>1,00</b>	<b>0,07</b>	<b>42,09</b>
0,00189	1,98	15,67	2,19	1,00	0,02	74,78
0,00252	2,86	11,92	1,85	1,00	0,01	91,99
0,00315	3,34	9,89	1,67	1,00	0,01	108,24
0,00379	3,62	8,62	1,55	1,00	0,01	124,43
0,00442	3,80	7,78	1,47	1,00	0,01	140,52

### 3.2.2.1.2 Cálculos de bomba

Considerando la salida del tanque (puntos 1) y la salida de la tubería de descarga (punto3), aplicando la ecuación de Bernoulli para el cálculo del trabajo de la bomba:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{\overline{u_1^2}}{\alpha} + gz_1 + W = \frac{p_3}{\rho} + \frac{\overline{u_3^2}}{\alpha} + gz_3 + \sum F_{\text{TOTAL}}$$

$$p_1 = p_3 = p_{\text{atm}}$$

$$z_3 - z_1 = 1.9 - 0.3 = 1.6 \text{ m}$$

$$u_1 = 0; u_3 = 0.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$W = \text{trabajo realizado por la bomba}$

La ecuación se reduce a:

$$W = \frac{\overline{u_3^2}}{\alpha} + g(z_3 - z_1) + \sum F_{\text{TOTAL}(3'' \text{ y } 2'')} = 58.7 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (3.13)$$

**Presión en salida de bomba:**

$$\begin{aligned} (p)_{\text{pump exit}} &= \rho W + (p_2)_{\text{pump entrance}} = 1320(58.7) + 102195 \\ &= 169679 \text{ Pa} \end{aligned} \quad (3.14)$$

**Cabezal total del Sistema  $H_s$ :**

$$H_s = \frac{W}{g} = \frac{58.7}{9.8} = 6 \text{ m} \quad (3.15)$$

**Potencia Hidráulica:**

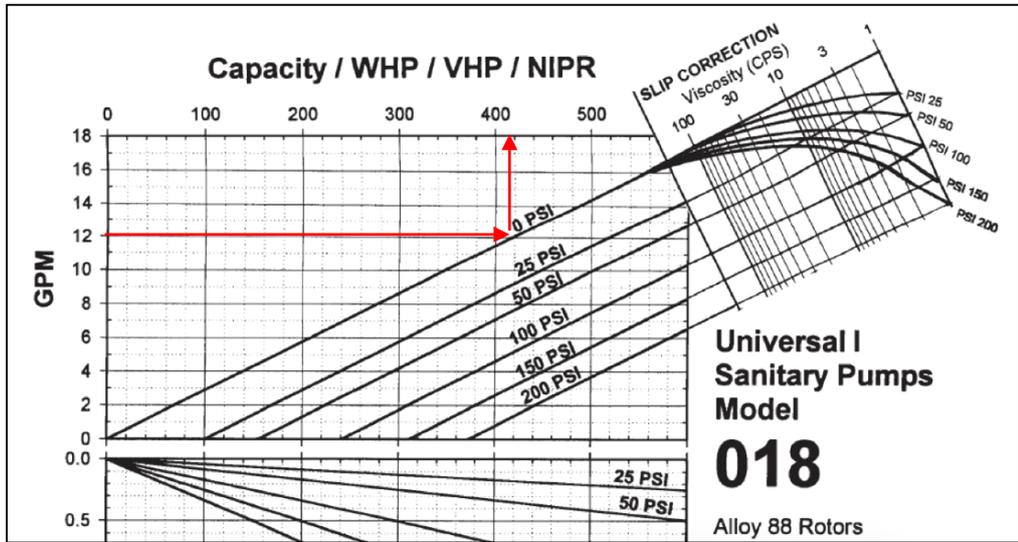
$$\Phi = W\dot{m} = \left(58.7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) = 58.7 \text{ W} = 0.08 \text{ hp} \quad (3.16)$$

**3.2.2.2 Selección de bomba y tubería de producto**

Con los resultados obtenidos previamente (Tabla 3.9) se retorna a revisar las curvas de las bombas disponibles (Tabla 3.3) en la marca Waukesha, serie 018, donde se encuentra que para el caudal (12 GPM), 2 de las bombas, la 018 y 018-U2 (Figuras 3.7 y 3.8) requieren una velocidad de 420 RPM y la modelo 018-UL (Figura 3.9) requiere una velocidad de 350 RPM, siendo la de menor velocidad mas apropiada para el transporte del chocolate.

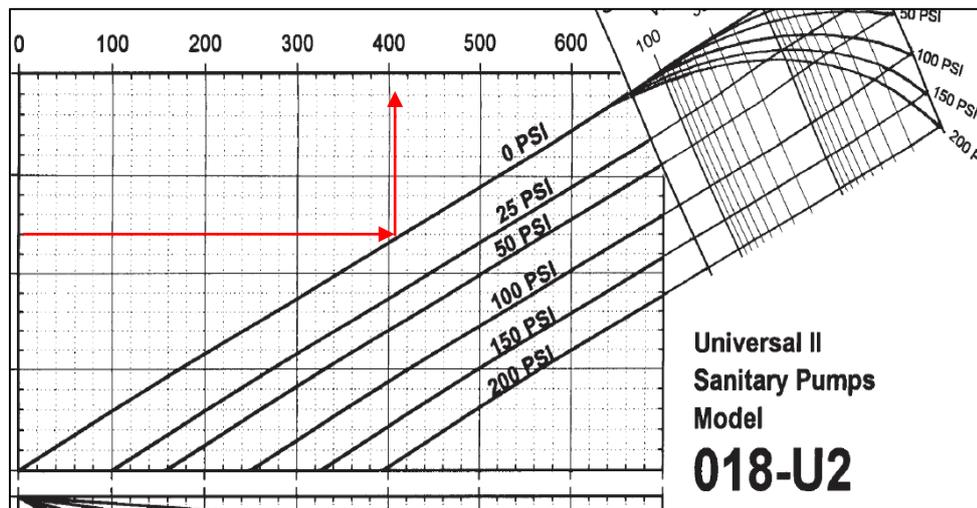
**Tabla 3.9** Resultados para selección de la bomba

RESULTADOS			
P succion (Pa)	102195.7	P salida (Pa)	169679
<b>NPSHa (m):</b>	7.2	Trabajo Hidraulico (J/Kg)	58.7
		<b>Potencia Hidraulica (hp)</b>	0.08
		<b>Cabezal Total (m):</b>	6



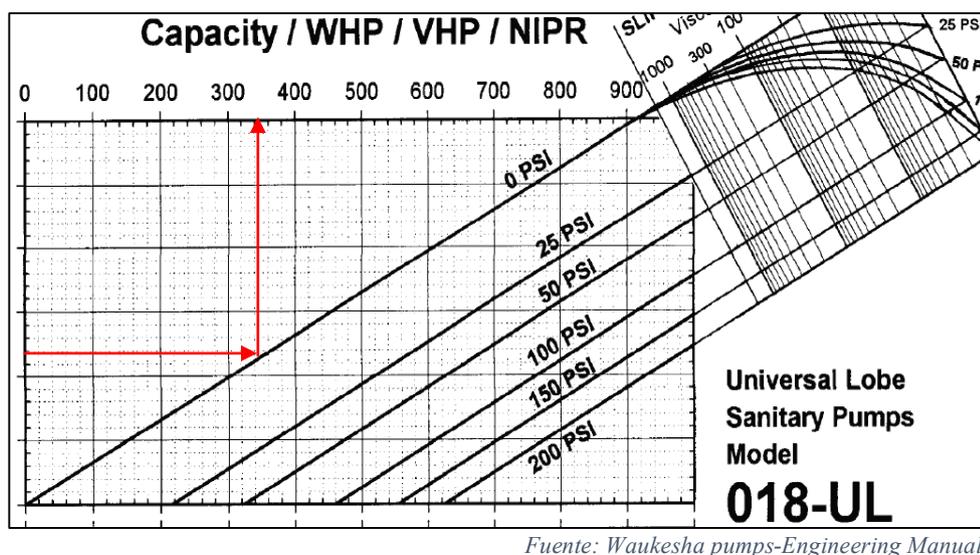
Fuente: Waukesha pumps-Engineering Manual

Figura 3.7: Curva caudal vs. velocidad bomba sanitarias Waukesha 018



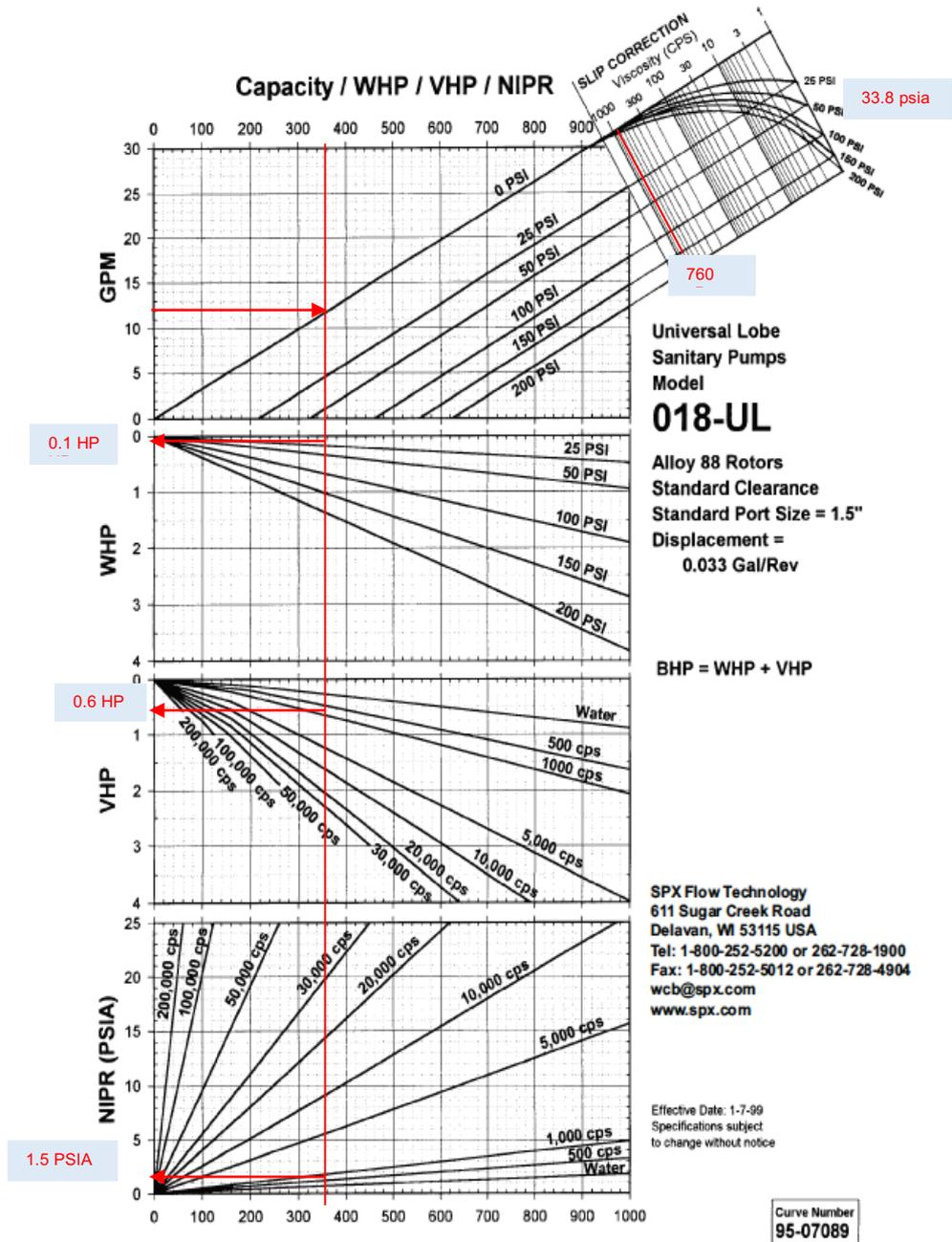
Fuente: Waukesha pumps-Engineering Manual

Figura 3.8: Curva caudal vs. velocidad bomba sanitarias Waukesha 018-U2



**Figura 3.9:** Curva caudal vs. velocidad bomba sanitarias Waukesha 018-UL

Continuando con la verificación de las curvas de la bomba modelo 018 UL, se puede revisar que la presión hidráulica de la curva a 12 GPM es de 0.1 hp, lo cual es también compatible con el requerimiento de potencia hidráulica, su NIPR (NPSHr) es de apenas 1,5 psia mientras el NIPA (NPSHa) es de 13.5 psia y su presión máxima es de 200 psia.



Fuente: Waukesha pumps-Engineering Manual

**Figura 3.10 :** Curvas de caudal, velocidad, potencia y NPSHr (NIPR) de bomba 018-UL

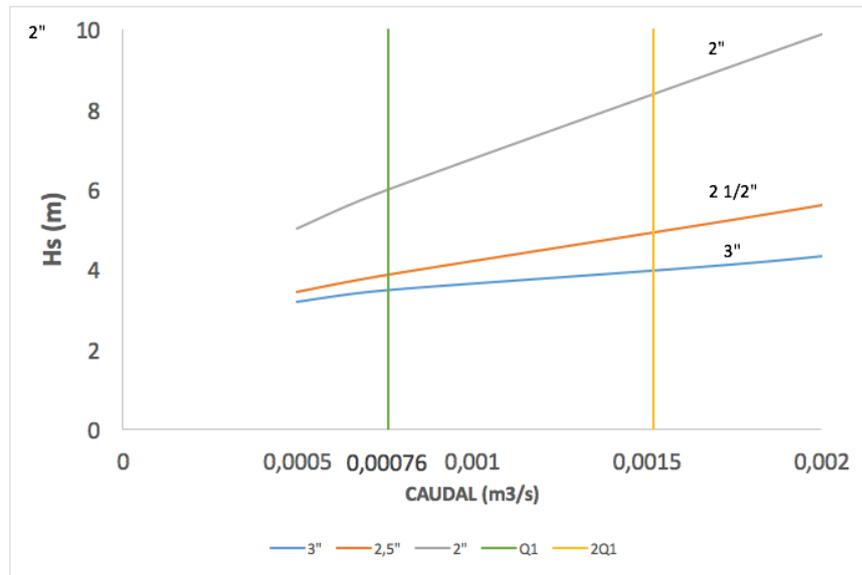
### 3.2.2.2.1 Potencia TOTAL Requerida y torque

De la curva también se puede extraer el valor de VHP con lo cual se obtiene la potencia total requerida para el funcionamiento de la bomba:

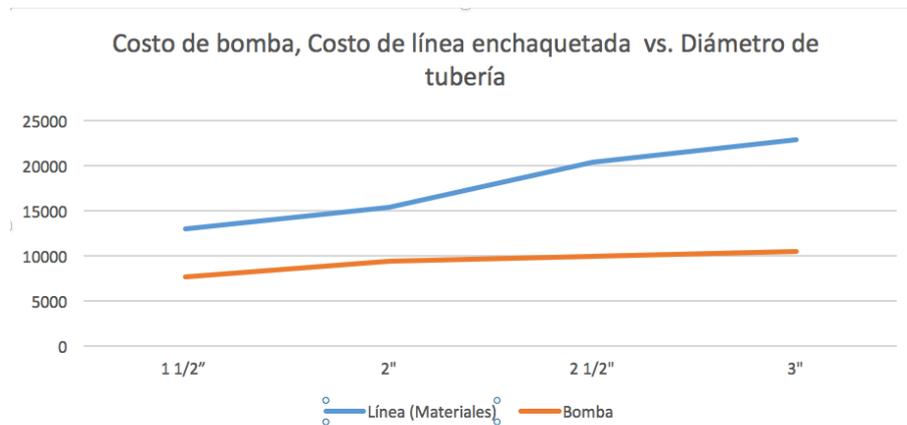
$$\text{BHP} = \text{WHP} + \text{VHP} = 0.08 + 0.6 = 0.7 \text{ hp} \quad (3.17)$$

$$\text{Torque} = \frac{\text{HP} \times 5250}{N} = \frac{0.7 \times 5250}{360} = 10.2 \text{ pie. lb} \quad (3.18)$$

En cuanto a las tuberías, se evalúa el comportamiento del sistema propuesto, con otros diámetros diferentes a 2" (2 ½" y 3") (Figura 3.11), teniendo en cuenta que la bomba 018 UL puede elevar la presión del chocolate hasta 200 psi, esto cubriría el rango de cabezal total para varios diámetros de tubería, sin mayor esfuerzo. Sin embargo es obvio que la alternativa mas económica es 2" por costo de tubería y bomba (Figura 3.12).



**Figura 3.11** Curvas del sistema propuesto a 2", 2.5"y 3"

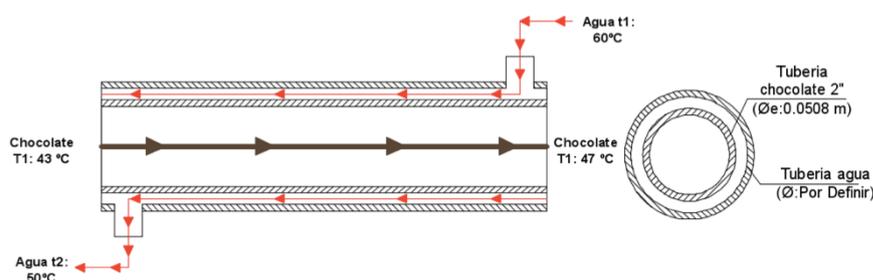


**Figura 3.12** Curvas comparativas entre costo de línea de tuberías vs. costo de bombas a 2", 2.5" y 3"

### 3.2.3 Elaboración de memoria de cálculo térmico para líneas de chaqueta y agua caliente

#### 3.2.3.1 Diseño de chaqueta y tubería de agua caliente

Como premisa definida desde la iniciación se conoce que el agua caliente disponible en planta, la cual se almacena en un tanque a 60 °C, esta disponible en cantidad suficiente para proveer el sistema de calentamiento, siempre y cuando el agua retorne a 50 °C (Fig. 3.13) .



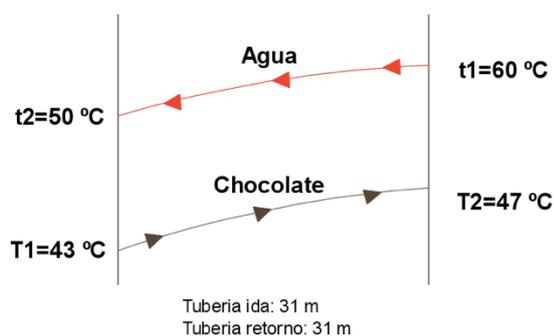
**Figura 3.13 :** Esquema de chaqueta de agua caliente

#### 3.2.3.1.1 Cálculo de transferencia de calor tramo Chocolatería-Envasado

Uno de los requisitos, detallados en los procesos de iniciación y planificación, señalaba que el chocolate podía tener una variación no mayor a 45 +/- 2 °C por ello como punto de partida se asumirá que el chocolate despachado desde la marmita oscila entre 43 °C y no mas allá de 47 °C, presentándose el

gradiente mas alto de temperatura en el tramo de chocolatería a envasado, siendo también el mas critico, pues es el que lleva al chocolate a su temperatura de uso, siendo el retorno solo de mantención de temperatura.

Estas 2 temperaturas definen el rango de calor que deberá proporcionar la chaqueta de agua caliente para controlar la temperatura del chocolate (Figura 3.14).



**Figura 3.14** Temperaturas de ingreso y salida previstas para chocolate y agua caliente

Calculamos la Diferencia de temperatura media logarítmica y temperaturas calóricas (Tabla 3.10):

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = 9.69 \text{ K}$$

$$T_c = 318 \text{ K} (\text{Temperatura calórica o promedio} - \text{Chocolate})$$

$$t_c = 328 \text{ K} (\text{Temperatura calórica o promedio} - \text{Agua})$$

**Tabla 3.10** : LMDT y temperaturas promedio para el sistema propuesto

Chocolate		Agua caliente		$\Delta T_2$	$\Delta T_1$	LMTD
T1 (Kelvin)	T2 (Kelvin)	t1 (Kelvin)	t2 (Kelvin)	t1- T2 (Kelvin)	t2 -T1 (Kelvin)	
316	320	333	323	13	7	9,69

$T_{media}=(T_i+T_f)/2$	Kelvin
TC chocolate	318
tc agua	328

Con las temperaturas promedio se determinan las propiedades físicas del agua (Anexo B-5, B-6) y el chocolate (Tabla 3.11):

**Tabla 3.11** Propiedades físicas del chocolate y agua en respectivas temperaturas promedio

Chocolate					
n	K	$c_p$ (J/kg.K)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Pa.s)	k (W/m.K)
0,62	0,574	1670	1320	0,76	0,2

Agua			
$c_p$ (J/kg.K)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Pa.s)	k (W/m.K)
4183	985,2	0,000504	0,649

La configuración de enchaquetado usualmente usada para una tubería sanitaria AISI 316 L de 2", es una tubería concéntrica de AISI 316 2.5"(Tabla

3.12), por facilidades de ensamblaje y por economía, esta decisión deberá validarse con los cálculos subsecuentes.

**Tabla 3.12:** Medidas de diámetros de tuberías sanitarias AISI 304-316L (Anexo B-8)

DIAMETROS ESTANDAR AISI	Diametros internos		Diametros externos	
	m	inch	m	inch
3"	0,0720	2,8300	0,0762	3,0
2 1/2"	0,0602	2,3700	0,0635	2,5
2	0,0475	1,8700	0,0508	2,0
1,5	0,0348	1,3700	0,0381	1,5
1	0,0221	0,8700	0,0254	1,0

Calor a ganar por el chocolate:

$$\dot{m}_{\text{chocolate}} = \text{Caudal} \cdot \rho = 0.00076 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1320 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{velocidad}_{\text{media, chocolate}} = \frac{\text{Caudal}}{A_{\text{tubo}}} = \frac{0.00076 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0018} = 0.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\begin{aligned} q &= \dot{m}_{\text{chocolate}} \cdot c_{p, \text{chocolate}} \cdot (T_2 - T_1) = \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \left(1670 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (320 \text{ K} - 316 \text{ K}) \\ &= 6701 \text{ W} \end{aligned}$$

Número de Graetz:

$$Gz = \frac{\dot{m}_{\text{chocolate}} c_p}{k_{\text{chocolate}} L} = 270.2$$

Número de Nusselt para chocolate <sup>10</sup>:

$$\text{Nu}_{\text{chocolate}} = \frac{h_i d_i}{k_i} = 1.75 \left( \frac{3n + 1}{4n} \right)^{1/3} \text{N}_{\text{Gz}}^{1/3} \left( \frac{K_b}{K_w} \right)^{0.14}$$

La relación del coeficiente de consistencia  $K_b$  (*bulk*) y  $K_w$  (*wall*), para fluido laminar no Newtoniano es despreciable o de un modo conservador se puede considerar como un factor igual a 1.1 <sup>11</sup>.

$$\left( \frac{K_b}{K_w} \right)^{0.14} = 1.1$$

$$\text{Nu}_{\text{chocolate}} = \frac{h_i d_i}{k_i} = 13$$

Despejando  $h_i$  y calculando  $h_{i0}$ :

$$h_i = 55$$

$$h_{i0} = h_i \cdot \left( \frac{D_i}{D_o} \right) = 51.4$$

---

<sup>10</sup> Bibliografía [4] Geankopolis, C., Pagina 297-298: Dado que muchos fluidos no Newtonianos son bastante "viscosos", los efectos de convección naturales se reducen sustancialmente. Para el flujo laminar dentro de tubos circulares de fluidos de ley de potencia, la ecuación de Metzner y Gluck se puede utilizar con fluidos altamente "viscosos " no Newtonianos con convección natural insignificante para tubos horizontales o verticales para el número de Graetz >20 y n>0.1

<sup>11</sup> Bibliografía [4] Geankopolis, C., Pagina 298: Frecuentemente datos para el efecto de la temperatura sobre K no están disponibles. Desde que la relación  $K_b/K_a$  esta elevada a la potencia 0.14, este factor puede algunas veces ser omitido sin causar mayor error. Fara un valor de relación de 2:1 el error es de aproximadamente 10%.

Tabla 3.13 Coeficientes de convección del tubo interno (chocolate)

Tubo (Chocolate)		
hi di/ki	hi (W/m2.K)	hio(W/m2.K)
13,05	54,95	51,38

Número de Nusselt para agua:

Primero se calcula flujo másico de agua necesario para generar el calor a ceder al chocolate:

$$\dot{m}_{agua} = \frac{q}{c_{p,agua} \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{6701 \text{ W}}{4183 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (333\text{K} - 323\text{K})} = 0.16 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Caudal requerido de agua:

$$Q = \frac{\dot{m}_{agua}}{\rho} = 0.00016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \left(9.6 \frac{\text{l}}{\text{min}}\right)$$

Comportamiento del flujo:

$$D_{eq,anular} = \frac{D_{i,chaqueta}^2 - D_{e,tubo}^2}{D_{e,tubo}} = \frac{(0.0602 \text{ m})^2 - (0.0508 \text{ m})^2}{0.0508} = 0.02$$

$$A_{anular} = \frac{\pi(D_{i,chaqueta}^2 - D_{e,tubo}^2)}{4} = \frac{\pi((0.0602 \text{ m})^2 - (0.0508 \text{ m})^2)}{4} =$$

$$= 0.000819 \text{ m}^2$$

$$\bar{u} = \frac{\text{Caudal}}{A_{anular}} = 0.19 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_{agua} = \frac{\rho_{agua} \bar{u} D_{equivalente}}{\mu_{agua}} = 7967; \text{ es decir regimen en transición}$$

Número de Prandtl:

$$Pr_{agua} = \frac{c_{p,agua} \mu_{agua}}{k_{agua}} = 3.25$$

Finalmente se aplica la ecuación de Gnielinski<sup>12</sup> para obtener el Número de Nusselt y así el coeficiente de película  $h_o$  :

$$Nu_{agua} = \frac{h_o d_{equivalente}}{k_{agua}} = \left( \frac{(f/8)(Re_{agua} - 1000)Pr_{agua}}{1 + 12.7 ((f/8)(Pr_{agua}^{2/3} - 1))} \right)^{1/3}$$

$$= 49.8; \text{ Para valor de } f \text{ consultar Abaco de Moody, Anexo B - 7}$$

---

<sup>12</sup> Bibliografía [8] Incropera, F., Pagina 445-446: Para flujo Turbulento  $3000 < Re < 5 \times 10^6$ ;  $0.5 < Pr < 2000$ ;  $L/D > 10$

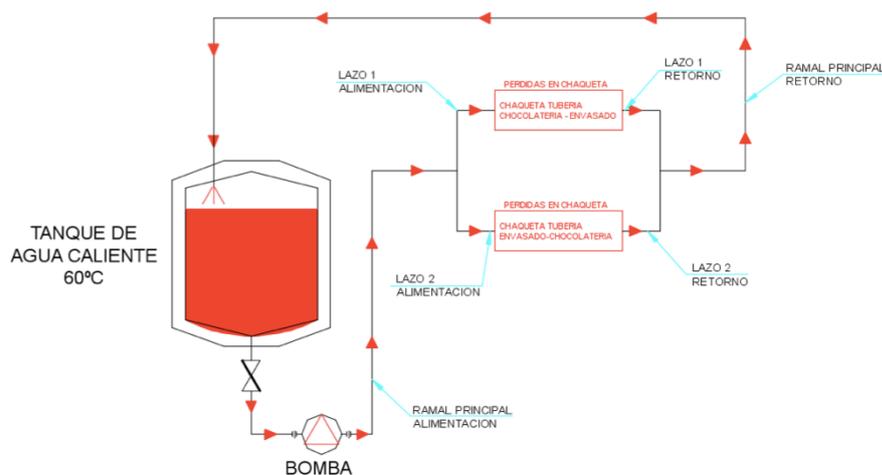
Tabla 3.14 Coeficiente de convección de tubo externo (Agua)

Anular (Agua caliente)	
ho deq/ko	ho (W/m2.K)
49,80	1573,70

Temperatura de pared:

$$T_w = t_c + \left( \frac{h_i}{h_{i0} + h_o} \right) (T_c - t_c) = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**3.2.3.1.2 Cálculo de tubería de agua caliente para alimentación de chaqueta:**



**Figura 3.15** Esquema de circuito de agua caliente

Perdidas hidráulicas en la chaqueta:

$$D_{eq, hidraulico, anular} = D_{i, chaqueta} - D_{e, tubo} = 0.0094$$

$$\begin{aligned} Re_{hidraulico, agua} &= \frac{\rho_{agua} V_{media} D_{eq, hidraulico, anular}}{\mu_{agua}} \\ &= 3646; \text{ es decir flujo turbulento} \end{aligned}$$

Para flujo turbulento:

$$f = 0.00140 + \frac{0.125}{Re_{hidraulico, agua}^{0.32}} = 0.0084$$

Siendo las tuberías de producto de la misma longitud en su viaje de ida y de retorno, 31 m, cada chaqueta generara una perdida de:

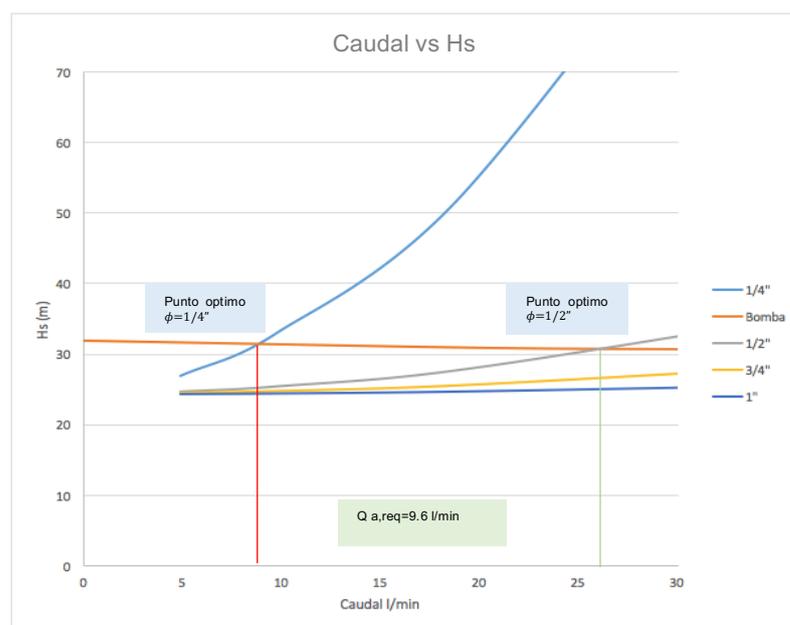
$$\begin{aligned} \Delta P_{hidraulico, agua} &= \frac{4 f G^2 L}{2g D_{eq, hidraulico, anular}^2 \rho_{agua}} + \frac{V_{media}^2 \rho_{agua}}{2} \\ &= 230331 \text{ Pa}(33.4 \text{ psia}) \end{aligned}$$

Esta perdida se añade a la perdida por longitud de cada ramal de agua caliente (Tabla 3.14) se calcula el cabezal hidráulico total utilizando para el cálculo varios diámetros internos de tuberías comerciales y procedemos a elaborar la curva del sistema para cada diámetro de tubería.

**Tabla 3.14** Longitudes de ramales de distribución de agua caliente

Agua caliente			
Ramal principal de agua caliente de alimentacion (m)		Ramal principal de agua caliente de retorno (m)	
9,5		10,7	
Lazo 1		Lazo 2	
Alimentacion (m)	Retorno (m)	Alimentacion (m)	Retorno (m)
29,93	8,94	6,68	29,66
<b>38,87</b>		<b>36,34</b>	
<b>75,21</b>			

Se verifica que con el caudal requerido (9.6 l/min) y el ¼" estamos próximos al punto optimo sistema- bomba (Anexo B-7), sin embargo esta muy ajustado, por ello se selecciona el diámetro comercial inmediato superior de ½".



**Figura 3.16** Curvas del sistema de ramales de agua caliente a diferentes diámetros y curva de bomba de agua propuesta vs. caudal

### 3.2.3.1.3 Cálculo de espesor de aislamiento de tubería enchaquetada

La tubería recorre la mayor parte de su recorrido en posición horizontal y se encuentra montada y sujeta sobre el tumbado de la planta, donde no hay circulación de aire forzada y la temperatura promedio del área es  $T_{\infty} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Para calcular el aislamiento primero debemos calcular el flujo de calor que cedería la tubería desnuda, sabiendo que la temperatura de superficie exterior de la chaqueta esta entre  $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Temperatura de pared exterior de tubo interior) y  $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Temperatura del agua caliente), podemos asumir como máxima temperatura sobre superficie exterior  $T_s=60 \text{ }^{\circ}\text{C}$

El coeficiente de temperatura exterior puede expresarse por la fórmula:

$$h_{conv} = 1,25 \left( \frac{T_{\infty} - T_s}{D} \right)^{0.25} = 1,25 \left( \frac{60 - 30}{0.0635} \right)^{0.25} = 5.8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s + T_{\infty})(T_s^2 + T_{\infty}^2) = 6.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$R_{conv,cilindrica} = \left( \frac{1}{2\pi r h_{comb}} \right) = 0.5 \frac{\text{mK}}{\text{W}}$$

$$q = \left( \frac{T_{\infty} - T_s}{1/2\pi r h_{comb}} \right) = 74.24 \frac{W}{m}$$

Se plantea, permitir perder el 10% del calor total emitido por la tubería

desnuda, luego de instalado el aislamiento, es decir  $7.4 \frac{W}{m}$ .

Con datos provenientes de la hoja técnica de aislamiento (ANEXO B-11),

elaboramos una curva para ver el comportamiento de  $k$  vs.  $T$ :

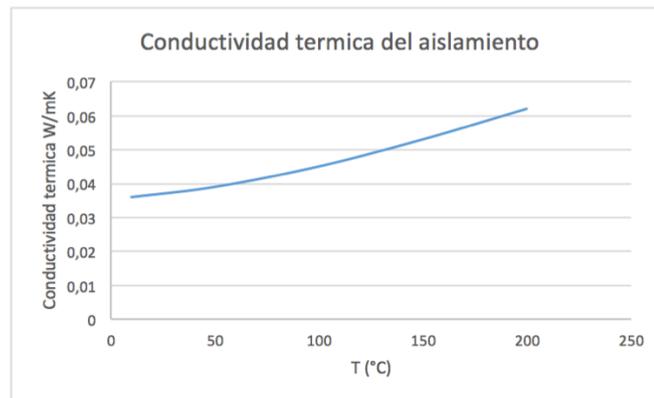


Figura 3.17 : Curva  $k \left( \frac{W}{mK} \right)$  vs.  $T$  (°C) para aislamiento

Para empezar se definirá la temperatura superficial que aceptaremos luego de instalado el aislante, se definió para esto  $T_{\infty} + 2 \text{ } ^\circ\text{C}$  (*Maximo*) =  $32 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Con este punto de partida iniciamos iteraciones teniendo en cuenta que:  $h_{conv}$

cambiara con el cambio de diámetro,  $T_s$  ira variando desde 60 a 32 °C afectando el coeficiente de radiación y a  $k$  del aislamiento que afectara la resistencia por conducción.

Tabla 3.15 Iteraciones, punto de partida (verde) y valores finales de iteración (amarillo)

T aire		Ts -Tubo desnudo		Ts -Tubo aislado	
°C	K	°C	K	°C	K
30	303	60	333	32,16	305,2

k (W/mK)		espesor aislamiento (m)		D ext tubo desnudo (m)	D ext tubo aislado (m)
0,04	0,035	0	0,05	0,0635	0,1635

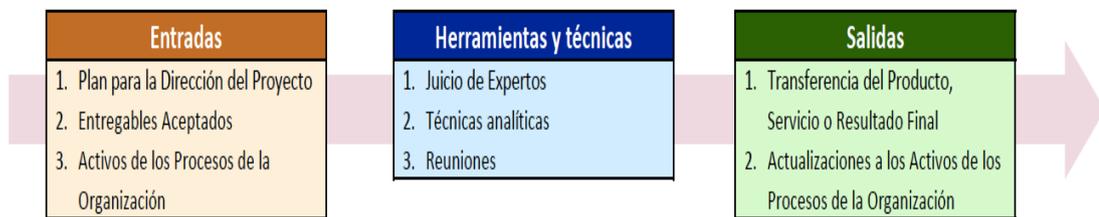
R conduccion cilindrica (mK/W)	h conveccion (W/m2K)	h radiacion (W/m2K)	h combinada (W/m2K)	R Total (mK/W)	q (W/m)
0,0	5,8	6,6	12,4	0,4	74,2
0,1	2,4	5,7	8,1	0,2	7,4

Finalmente, se determina que para liberar 7,4 W/m, el espesor del aislamiento debe ser de 0.05 m (2").

# CAPÍTULO 4

## 4. CIERRE Y CONCLUSIONES

Se formaliza la conclusión de cada entregable, revisando el estatus del mismo en la EDT, se evalúa el cumplimiento de los objetivos, se ingresa la información de diseño y gestión a los activos de la empresa.



*Fuente: PMBOK, Quinta edición*

Figura 4.1 Proceso de Cierre

### Cierre

Se revisa si cada paquete de trabajo ha finalizado y se procede a dar por cerrado cada uno de los entregables (Figura 4.2)

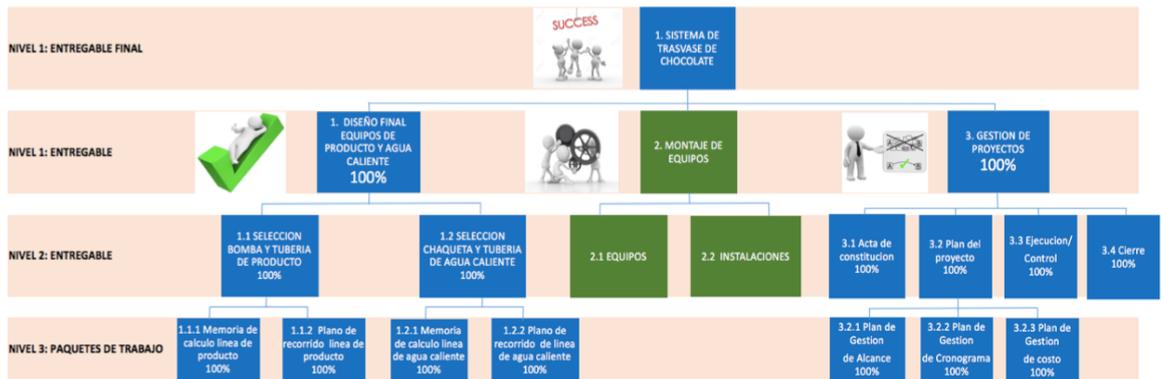


Figura 4.2 Revisión final EDT

**Diseño Final**

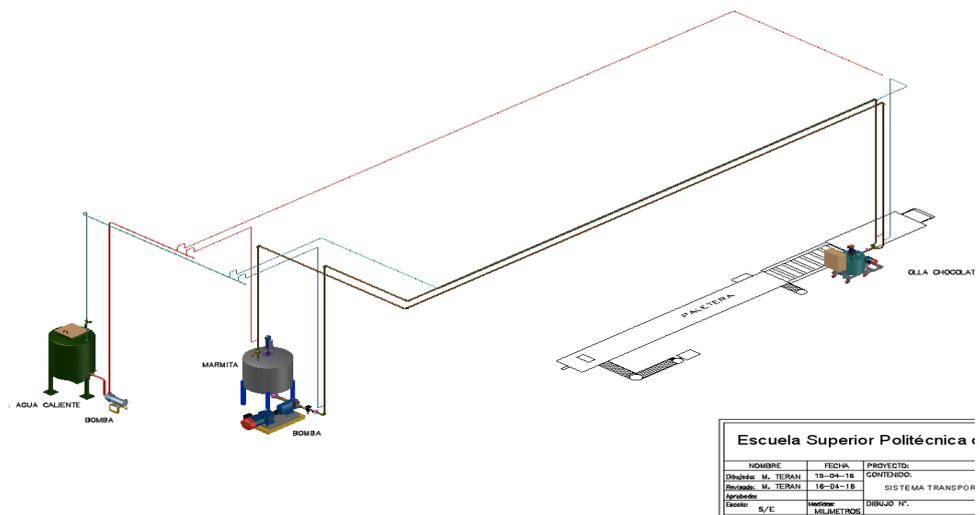


Figura 4.3 Diseño Final

**Tabla 4.1 Especificaciones técnicas de diseño final**

TUBERIAS							
	$\Delta T$	Material	Diametro comercial (Higienico)	Chaqueta		Aislamiento	
				Diametro de Chaqueta	Material	Material	Espesor
Tuberia de producto	4 °C	SS-AISI 316L	2"	2 1/2"	SS-AISI 304	Lana mineral	2"
Tuberia de agua caliente	10 °C	ASTM-A53-GRB	1/2"	N/A		Lana mineral	1"

BOMBAS						
	Marca	Modelo	Temperatura de operación °C		Potencia motor (Hp)	Cauda nominal (l/m)
			min	max		
Bomba de producto	Waukesha(SPX)	18 UL	43	47	1 hp	45.4
Tuberia de agua caliente	INDISTINTO	INDISTINTO	50	60	1 hp	9.6

## Conclusiones

### Metodología:

- La metodología de proyectos del PMI nos permite gestionar de forma organizada el proyecto, permite recopilar toda la información disponible acerca del proyecto, planificar paso a paso las restricciones mas importantes del proyecto (alcance, costo y tiempo) y tener claros los entregables a los que debemos dedicar esfuerzo durante la ejecución.

-Es un error muy difundido iniciar el proyecto elaborando el Gantt directamente, cuando aun no esta definido el alcance completo del proyecto. El método correcto es dedicar tiempo al inicio del proyecto para alinear expectativas, limites y objetivos claros a través del **Acta de constitución** y definir la estructura final de los entregables a través de la **EDT**.

### Diseño:

-Es importante identificar el comportamiento del fluido que vamos a transportar, pues aunque existen ecuaciones “generalizadas” que son aplicables para fluidos Newtonianos y no Newtonianos, de la correcta identificación de las características del fluido (índice de comportamiento,

coeficiente de consistencia, etc.) dependerá de su correcta aplicación y resultados subsecuentes.

-Aunque existe mucha información en internet acerca de las características reológicas de diferentes fluidos no Newtonianos (chocolate, miel, etc.), la única fuente confiable es la información del proveedor basada en ensayos propios.

# BIBLIOGRAFÍA

- 1 PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Project management body of knowledge (2013). Project management institute Inc.
- 2 STEFFE, J.F. Bioprocessing pipelines: Rheology and Analysis (2006). Freeman Press.
- 3 BARBOSA, GUSTAVO V. Units operations in food engineering (2003). CRC Press LLC.
- 4 GEANKOPOLYS,C. Transport processes and unit operations (1993).Prentice Hall, Inc.
- 5 HOOPER, W.B. Chemical Engineering (1981, Ago. 24).
- 6 DARBY, R. Chemical Engineering Fluid Mechanics (Segunda Edición 2001). Marcel Dekker, New York.
- 7 ROUBY M. Physical and Mechanical properties of stainless steel (1993)

- 8 INCROPERA, F. Fundamentos de transferencia de calor (Cuarta Edición 1999).

## **ANEXO A**

## 1. FORMATO ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO

ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO	
PROYECTO:	DISEÑO DE SISTEMA DE TRASVASE DE CHOCOLATE LIQUIDO
RESPONSABLE:	MARIO TERAN JARAMILLO

1. JUSTIFICACIÓN O PROPOSITO DEL PROYECTO	
<p>Aprovechando la decisión de realizar un cambio en el tipo de chocolate usado en la cobertura de helados de palito, la gerencia general ha facilitado un presupuesto para sustituir el transporte manual de chocolate por un sistema que incluya una bomba y una línea nueva de tuberías</p>	
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3. CRITERIOS DE ÉXITO
<p><b>Seguridad:</b> 0 incidentes y/o accidentes durante la implementación del proyecto</p>	<p>Indicador de incidentes y accidente de seguridad asociado al proyecto, TRFR=0</p>
<p><b>Calidad:</b> Cumplimiento con las normas de diseño, instalación sanitaria y buenas practicas de manufactura</p>	<p>100 % Cumplimiento de normativas aplicables</p>
<p><b>Alcance:</b> Cumplir con la funcionabilidad aprobada para cumplir con el propósito del proyecto y requisitos aprobados</p>	<p>100 % de cumplimiento de requisitos aprobados</p>

<b>Costo:</b> No tener sobrecosto en la implementación total del proyecto	100 % de cumplimiento bajo presupuesto aprobado
<b>Tiempo:</b> Implementar el proyecto en 3 meses	100% de cumplimiento del cronograma

ENUNCIADO DE TRABAJO	
5. NECESIDAD DE NEGOCIO	6. PLAN ESTRATÉGICO
<b>Seguridad:</b> Evitar caídas de baldes llenos de producto caliente (Chocolate 45°C ) durante la operación de carga y transporte	Producir sin accidentes laborales o impactos ecológicos
<b>Calidad:</b> Evitar la manipulación y potencial contaminación del chocolate	Internamente evitar no conformidades mayores y entregar a cliente externo un producto seguro y de calidad
<b>Costo:</b> Evitar costo asociado a un operador por turno	No tener costos de producción que no generen valor al producto
<b>Tiempo:</b> Ahorrar 40 minutos por turno, los cuales actualmente son destinados a llenar, transportar y vaciar baldes de chocolate	No tener tiempos de producción que no generen valor al producto

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
El alcance del proyecto abarca y se limita a la selección, compra e instalación de una bomba de chocolate acorde a las propiedades del producto y al diseño e instancian de una línea de tuberías de transporte de chocolate con chaqueta de agua caliente.

## 8. CASO DE NEGOCIO

Demanda de mercado <input type="checkbox"/>	Requisito Legal <input type="checkbox"/>
Necesidad de la organización <input checked="" type="checkbox"/>	Impacto Ecológico <input type="checkbox"/>
Solicitud del cliente <input type="checkbox"/>	Necesidad Social <input type="checkbox"/>
Avance Tecnológico <input type="checkbox"/>	Otro : <b>Se generará un ahorro colateral de 13000 USD anuales</b> , asociados principalmente a evitar mano de obra que no agrega valor al producto

**CONTEXTO DEL PROYECTO****9. SUPUESTOS****10. RESTRICCIONES**

	<b>9. SUPUESTOS</b>	<b>10. RESTRICCIONES</b>
TÉCNICOS/ ALCANCE	La marmita de chocolate actual mantiene el nuevo tipo de chocolate a 45 °C	No se incluye el cambio de la marmita de chocolate (La actual tiene 1 año de uso)
	El tanque de agua caliente usado actualmente para la marmita y que servirá para la chaqueta de agua caliente de la tubería, entregará el agua a 60 °C y permitirá una temperatura de retorno de agua a temperatura no menor de 45 °C	No se incluye dentro del alcance un nuevo sistema de generación de agua caliente (La actual tiene 1 año de uso)
	La marcas de la bomba de chocolate será marca Waukesha.	Solo usar marcas y proveedores aprobados
TIEMPO	La bomba tiene un tiempo de entrega promedio es de 2 semanas en planta	El tiempo de entrega de la bomba no debe alterar la fecha de entrega del proyecto
MATERIALES	Las tuberías serán de medidas estándar y estarán disponibles localmente	Las tuberías estarán disponibles localmente

RECURSOS	El diseño del sistema de trasvase será revisado por grupo multidisciplinario (Proyectos, Mantenimiento, Seguridad, producción y Calidad ) antes de su implementación.	Solo se podrán realizar reuniones multidisciplinarias 1 hora a la semana
PRESUPUESTO/ENTREGA	El presupuesto y plazos de entrega de equipos y materiales están basados en históricos	La desviación del presupuesto aprobado no será mayor del 12% permitido/ El proyecto deberá ser entregado en 3 meses desde su aprobación, Junio 2012

11. REQUISITOS DE ALTO NIVEL	12. RIESGOS IDENTIFICADOS DE ALTO NIVEL
<p><b>Sponsor (Dpto. de producción):</b>  Instalación de fácil operación, que entregue el chocolate a 45 °C +/- 2°C en el área de envasado</p>	<p>1. Retraso en tramites de importación de la bomba</p>
<p><b>Dpto. Mantenimiento:</b>  Deben usarse solo las marcas aprobadas:  Waukesha para bombas y Alfa Laval para válvulas</p>	<p>2. No disponibilidad de contratista instalador para las fechas requeridas</p>
<p><b>Dpto. de Calidad:</b>  Los acabados de las tuberías deben ser higiénicos y no debe existir puntos muertos en las tuberías</p>	<p>3. Falta de disponibilidad de personal de los diferentes departamentos por ocupaciones propias de la producción</p>
<p><b>Dpto. Seguridad:</b>  Las tuberías deben estar correctamente aisladas</p>	

<b>RESUMEN DEL CRONOGRAMA- HITOS Y PRESUPUESTO</b>	
<b>13. FECHA DE INICIO</b>	<b>14. FECHA PROGRAMADA DE FINALIZACIÓN</b>
2/3/15	1/6/15
<b>15. HITOS PRINCIPALES</b>	
1. Revisión de memoria de calculo y plano de la instalación propuesta (Grupo Multidisciplinario)	2. Orden de compra (Proyectos/Dpto. de Compras)
3. Inicio de instalaciones/Fin de instalaciones/Pruebas	

16. PRESUPUESTO						
EQUIPOS PRINCIPALES		INSTALACIONES		INGENIERIA EXTERNA		OTROS
Descripción	Costo (USD)	Descripción	Costo (USD)	Descripción	Costo (USD)	Imprevistos (USD)
Bomba de chocolate	10000	Línea de tuberías de chocolate enchaquetadas, aisladas y montadas	30000	N/A	N/A	<b>2450</b>
Bomba de agua caliente	1000	Línea de tuberías de agua caliente aisladas	3000			
		instalación eléctrica y control de las bombas	5000			
<b>INVERSIÓN FINAL EQUIPOS</b>	11000	<b>INVERSIÓN FINAL INSTALACIÓN</b>	38000	<b>INVERSIÓN FINAL INGENIERÍA</b>	0	
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>				51450		

RESPONSABLES DIRECTOS DEL PROYECTO					
17. NOMBRAMIENTO DEL DIRECTOR DE PROYECTOS					
Se nombra director de este proyecto al Jefe del Dpto. de Proyectos Mario Terán					
	1	2	3	4	5
Nivel de autoridad					
18. FIRMA PATROCINADOR	19. FIRMA CLIENTE				
GERENTE DE PLANTA	GERENTE DE PRODUCCIÓN				
19. FECHA DE FIRMA	20. COMENTARIOS				
18 de Febrero 2015					

## 2. FORMATO REGISTRO DE INTERESADOS DEL PROYECTO

REGISTROS DE INTERSADOS	
<b>PROYECTO:</b>	DISEÑO DE SISTEMA DE TRASVASE DE CHOCOLATE LÍQUIDO
<b>RESPONSABLE:</b>	MARIO TERÁN JARAMILLO

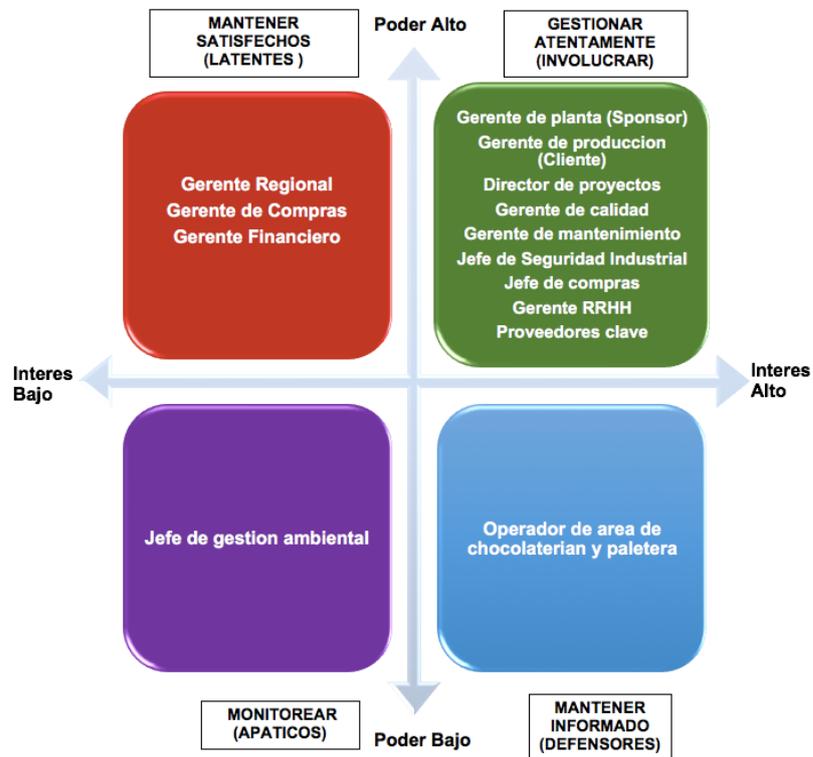
IDENTIFICACIÓN DE INTERESADOS				
1. NOMBRE	2. PUESTO	3. LOCALIZACIÓN	4. ROL EN EL PROYECTO	5. INFORMACIÓN DE CONTACTO
M.A.	Gerente de Planta	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Sponsor	
C.P.	Gerente de Producción	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Cliente	
M.T.	Jefe de Proyectos	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Director de proyectos	
F.Q.	Gerente de calidad	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Asesor de diseño higiénico	
E.S.	Gerente de mantenimiento	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Facilitador de recurso técnico	

I.N.	Jefe de Seguridad Industrial	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Asesor de seguridad	
N.G.	Jefe de compras	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Encargado de Adquisiciones	
S.C.	Gerente RRHH	Oficinas Administrativas Planta Guayaquil	Encargado de RRHH	
Proveedor 1	Proveedor bombas	Guayaquil	Proveedor de marca aprobada	
Proveedor 2	Proveedor tubería sanitaria y montaje	Quito	Proveedor especializado en montaje	

EVALUACIÓN				CLASIFICACIÓN	
6. PRINCIPALES REQUISITOS	7. PRINCIPALES EXPECTATIVAS	8. INFLUENCIA POTENCIAL	9. FASE O ETAPA DE INTERES	10. INTERNO/ EXTERNO	11. APOYO/ NEUTRAL/ OPOSITOR
Sistema debe poder trasvasar chocolate sin riesgo para el operador ni afectación a la calidad del producto	Se espera no tener retrasos en entrega del proyecto	Alta	Inicio	INTERNO	APOYO
Sistema debe ser de fácil operación	Fácil operación	Alta	Todas	INTERNO	APOYO
Compromiso de todos los interesados	Participación durante todo el proyecto	Alta	Todas	INTERNO	APOYO
Aplicación de buenas prácticas de diseño higiénico de planta	Instalación sin puntos muertos y con facilidades de limpieza	Alta	Todas	INTERNO	APOYO
Aplicación de listado de proveedores aprobados	Equipos estándar	Alta	Inicio	INTERNO	APOYO
Cumplimientos de estándares de seguridad en planta	Diseño seguro/0 accidentes durante implementación	Alta	Todas	INTERNO	APOYO

Cronograma y Especificaciones claras	Comunicación oportuna durante todo el proyecto	Todas	Planificación	INTERNO	APOYO
El personal que operara el sistema debe estar correctamente capacitado	Comunicación abierta acerca de fecha de arranque	Alta	Planificación	INTERNO	APOYO
Especificaciones y orden de compra claras	Venta sin razones de reclamos	Alta	Planificación	EXTERNO	APOYO
Especificaciones y contrato claro	Ejecución de trabajos en campo sin interferencias mayores	Alta	Planificación/ Ejecución	EXTERNO	APOYO

### 3. MATRIZ PODER Vs. INTERÉS DE LOS INTERESADOS DEL PROYECTO



#### 4. PLAN DE GESTIÓN DEL ALCANCE

<b>PLAN DE GESTIÓN DEL ALCANCE</b>	
PROYECTO:	DISEÑO DE SISTEMA DE TRASVASE DE CHOCOLATE LÍQUIDO
RESPONSABLE:	MARIO TERÁN JARAMILLO

<b>ALINEAMIENTO DEL PROYECTO</b>	
<b>1. PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DEL ENUNCIADO DETALLADO DEL ALCANCE</b>	
En reunión del equipo multidisciplinario de proyectos con soporte de documentos: Acta de Constitución, previamente elaborada. Lista de marcas aprobadas por la compañía Manual de diseño higiénico de planta Cotizaciones previas de bombas Estándares de seguridad Reportes de producción de paleta Definirán mediante brainstorming los objetivos SMART del proyecto, definirán los entregables del proyecto y acordarán los límites y restricciones del mismo.	
<b>2. PROCESO PARA LA CREACIÓN DE LA EDT</b>	
En el formato de Enunciado de trabajo, en reunión multidisciplinaria se enlistará los entregables requeridos por cada interesado en representación de su departamento y en consenso solo se dejará plasmado en el formato en cuestión los entregables prioritarios.	
<b>3. PROCESO PARA LA APROBACIÓN DE LA EDT</b>	
En reunión multidisciplinaria se revisará el borrador del EDT, elaborado por el director de proyectos y basado en los entregables redactados en el Formato de Enunciado de trabajo se revisará, se corregirá y se acordará consensualmente la EDT que será aprobada definitivamente por el sponsor	
<b>4. PROCESO PARA LA ACEPTACIÓN FORMAL DE LOS ENTREGABLES DEL PROYECTO</b>	
Se ha definido para este proyecto que la aprobación de TODOS los entregables se centralizará en el sponsor, gerente de planta.	

**5. PROCESO PARA EL CONTROL DE SOLICITUDES DE CAMBIO DEL ENUNCIADO DEL ALCANCE DEL PROYECTO**

Se ha definido para este proyecto que la aprobación de TODOS los cambios que requerirá el enunciado se centralizará en el sponsor, gerente de planta.

## 5. ENUNCIADO DEL ALCANCE

ENUNCIADO DEL ALCANCE	
PROYECTO:	DISEÑO DE SISTEMA DE TRASVASE DE CHOCOLATE LÍQUIDO
RESPONSABLE:	MARIO TERÁN JARAMILLO

ALINEAMIENTO DEL PROYECTO	
<b>1. OBJETIVOS ESTRATÉGICOS DE LA ORGANIZACIÓN</b>	<b>2. PROPÓSITO DEL PROYECTO</b>
El objetivo principal es ingresar una nueva variante de chocolate como parte de un requerimiento de la organización para la categoría de helados tipo palito para el 2016	Con la implementación del proyecto se debe poder transportar la nueva variedad de chocolate desde el área de chocolatería hasta el área de envasado sin manipulación del mismo.
<b>3. OBJETIVOS DEL PROYECTO</b>	
<b>Alcance:</b> El proyecto se limita al diseño e implementación de una nueva bomba apropiada para el nuevo tipo de chocolate, inclusión de filtro en línea, selección del diámetro de la tubería para el transporte del producto , diseño del enchaquetado con agua caliente de dicha tubería, diseño de línea de agua caliente y selección de bomba de agua.	<b>Tiempo:</b> Se debe implementar el proyecto en máximo <b>3 meses</b> desde su aprobación
<b>Costo:</b> El presupuesto preliminar del proyecto es de <b>55 KUSD</b> , sin embargo puede redefinirse conforme se validen los costos contra el alcance	<b>Calidad:</b> No debe existir desviaciones entre el entregable final del proyecto y la documentación de requisitos, con sus especificaciones, acordada con todos los interesados

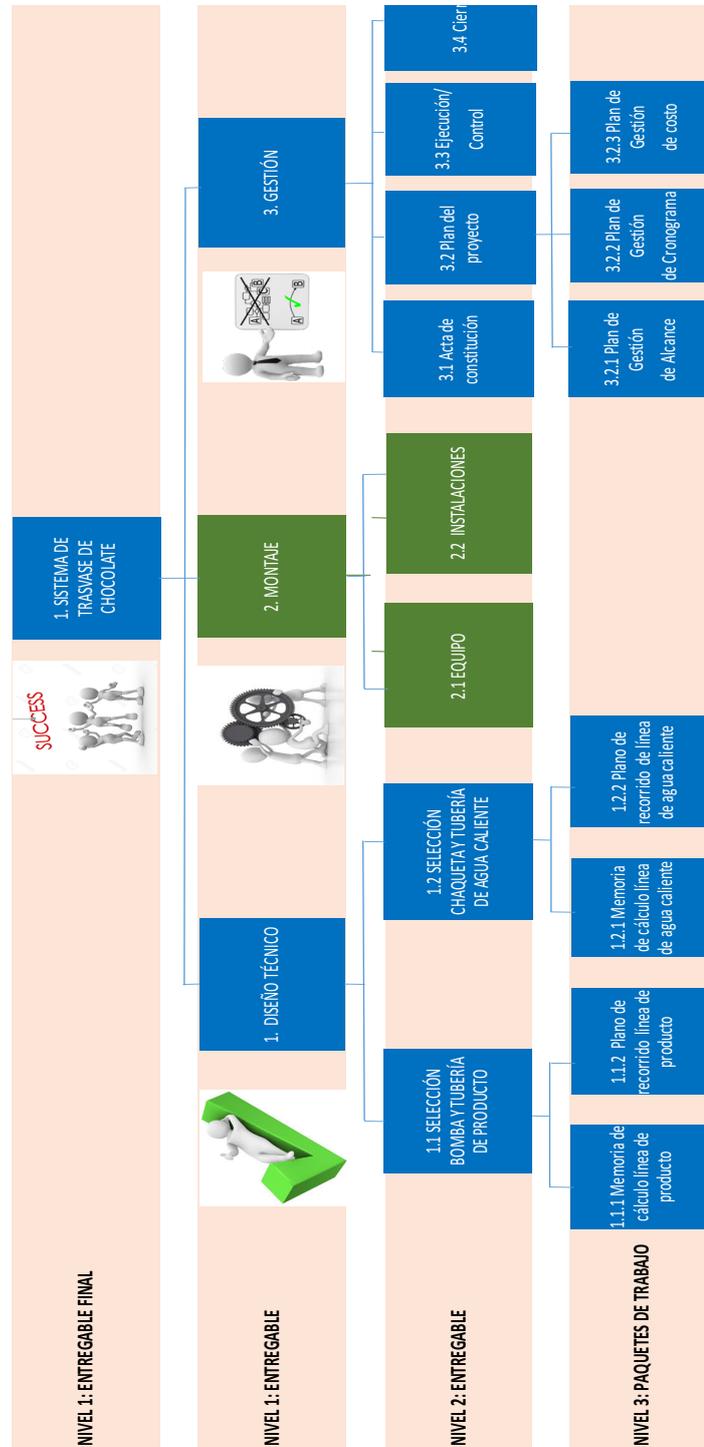
<b>4. FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO DEL PROYECTO</b>	
1. Participación de todos los interesados clave del proyecto para la elaboración completa de la documentación de requisitos y EDT del Proyecto	2. Seguimiento de avance de entregables y comunicación permanente con todos los interesados del proyecto a través de reuniones periódicas acordadas.
3. Verificar disponibilidad de materiales y recursos de contratistas durante la duración del proyecto	4. Identificar a proveedores de bombas y tuberías grado sanitario
5. Recopilar buenas prácticas implementadas en otras plantas similares	6. Validar presupuesto del proyecto con valores reales provenientes de cotizaciones

<b>DESARROLLO DE LA PROPUESTA</b>	
<b>5. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO DEL PROYECTO</b>	
1. Chocolate disponible en envasado a través de tuberías sin alteración de sus características sensoriales por el proceso de bombeo	2. Línea de tuberías que transporte el chocolate de forma higiénica y de material resistente a la erosión producto del uso diario
3. Chocolate a temperatura estable de 45 °C (+/- 2 °C)	

**6. DESCRIPCIÓN DE LOS ENTREGABLES DEL PROYECTO**

<b>ENTREGABLE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
DISEÑO FINAL EQUIPOS DE PRODUCTO Y AGUA CALIENTE	Ingeniería de detalle de bomba de chocolate, bomba de agua caliente, tuberías de agua caliente y tubería enchaquetada de producto.
MONTAJE DEL SISTEMA	Sistema instalado y operativo
GESTIÓN DE PROYECTOS	Administración de recursos a través de procesos de inicio, planificación, ejecución, control y cierre

## 6. EDT DEL PROYECTO



## 7. DICCIONARIO EDT DEL PROYECTO

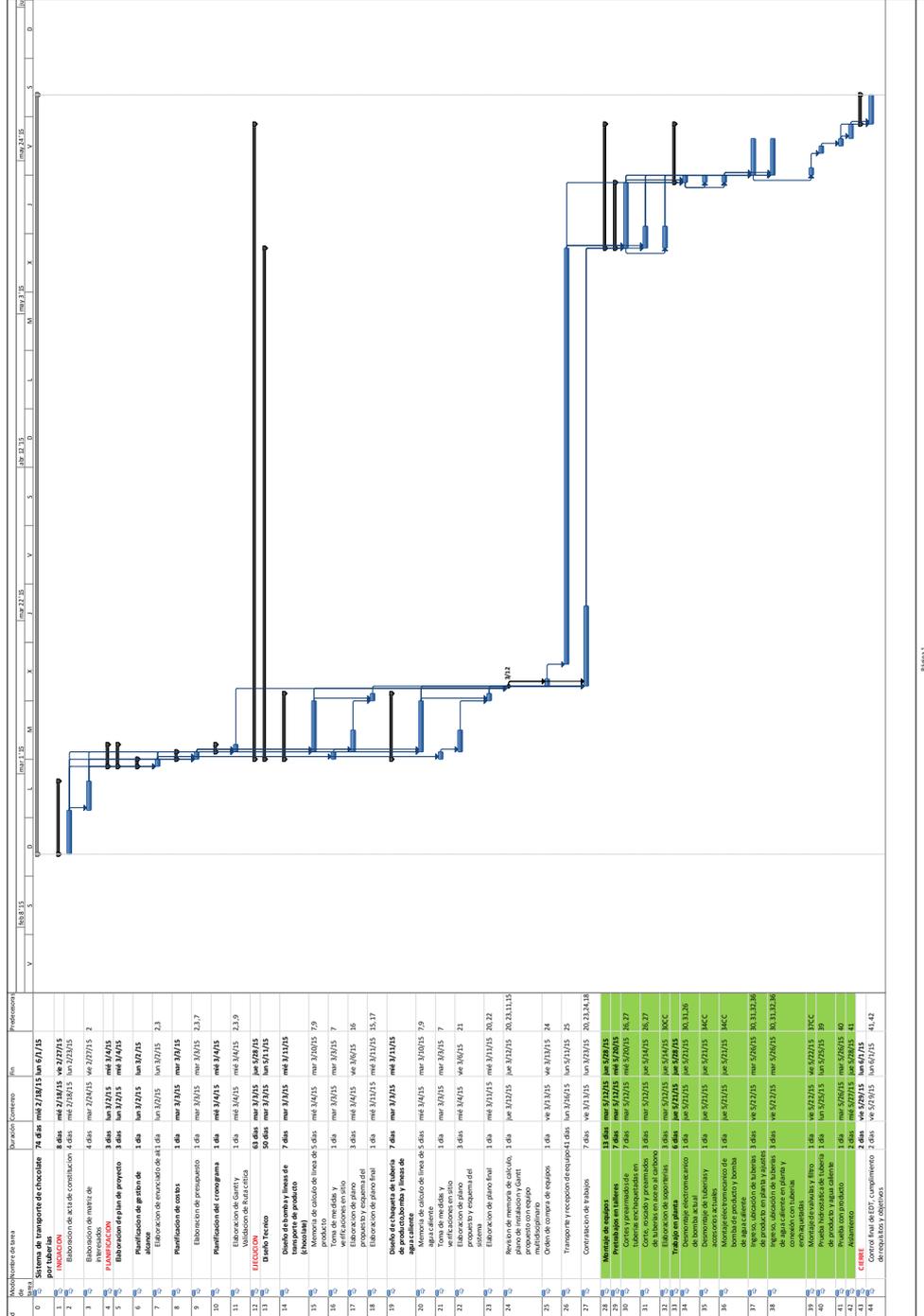
### DICCIONARIO EDT: SISTEMA TRASVASE DE CHOCOLATE

Componente de la EDT	Título del componente	Descripción del componente
1	DISEÑO FINAL EQUIPOS DE PRODUCTO Y AGUA CALIENTE	Ingeniería de detalle de bomba de chocolate, bomba de agua caliente, tuberías de agua caliente y tubería enchaquetada de producto.
1.1	SELECCIÓN BOMBA Y TUBERÍA DE PRODUCTO	Selección de tipo de bomba de chocolate, capacidad y potencia . Selección de material de tubería y diámetro.
1.1.1	Memoria de cálculo línea de producto	Recopilación de especificaciones de propiedades del producto (chocolate). Cálculo de tubería de acorde a requerimientos del producto a transportar y recorrido.
1.1.2	Plano de recorrido de línea de producto/Esquema del sistema	Toma de medidas en sitio y elaboración de planos en ACAD 3D de la línea de tuberías de producto
1.2	SELECCIÓN CHAQUETA Y TUBERÍA DE AGUA CALIENTE	Selección de tipo de bomba de agua caliente, capacidad y potencia . Selección de material de tubería y diámetro.

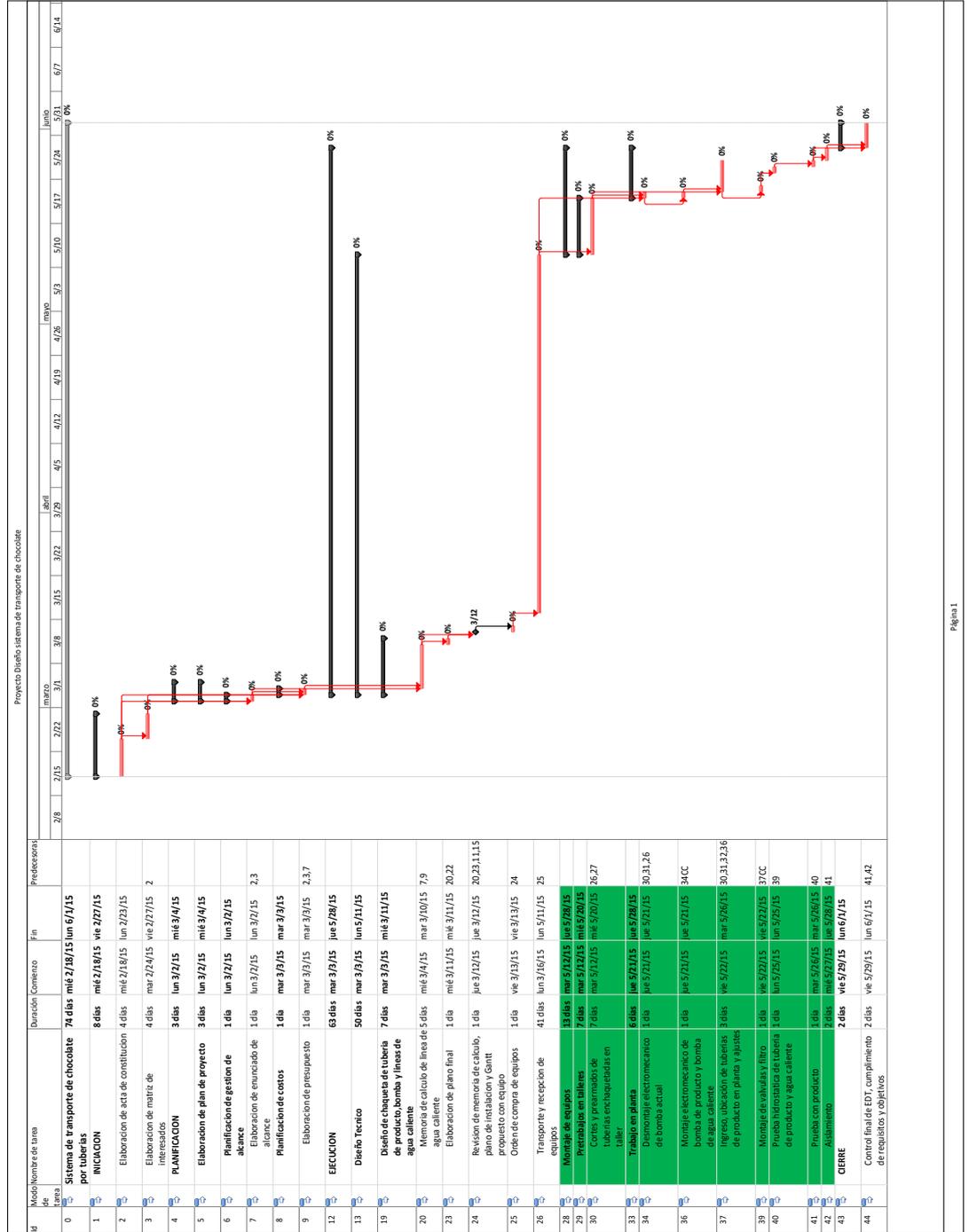
1.2.1	Memoria de cálculo línea de agua caliente	Cálculo de bomba y tubería de agua caliente acorde a flujo asociado a transferencia de calor requerida
1.2.2	Plano de recorrido de línea de agua caliente	Toma de medidas en sitio y elaboración de planos en ACAD 3D de la línea de tuberías de producto
2	MONTAJE DEL SISTEMA	Sistema instalado y operativo
2.1	DETALLES DE MONTAJE MECÁNICO Y ELÉCTRICO	Típicos de montaje de bombas, soportes de tuberías, soldadura sanitaria, aislamiento y conexión eléctrica
2.2	INVENTARIO DE MATERIALES	Verificación de materiales y recursos previos a las labores de montaje
3	GESTIÓN DE PROYECTOS	Administración de recursos a través de procesos de inicio, planificación, ejecución, control y cierre para obtener un resultado
3.1	ACTA DE CONSTITUCIÓN	Acta de formalización de la autorización del proyecto y del director
3.2	PLAN DEL PROYECTO	Plan de integración de todos los planes

3.2.1	PLAN DE GESTIÓN DEL ALCANCE	Plan para establecer y documentar como el alcance será definido, validado y controlado
3.2.2	PLAN DE GESTIÓN DEL CRONOGRAMA	Establecer políticas, procedimientos y documentación para planificar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma
3.2.3	PLAN DE GESTIÓN DEL COSTO	Establecer políticas, procedimientos y documentación para planificar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma
3.3	EJECUCIÓN	Dirigir , gestionar, realizar y llevar a cabo el trabajo del proyecto, proporcionar los entregables y brindar información sobre el desempeño del trabajo
3.4	CIERRE	Proceso de culminar todas las actividades de todos los grupos de proceso

# 8. GANTT DEL PROYECTO



# 9. RUTA CRITICA DEL PROYECTO



## **ANEXO B**

## 1. Valores de $k_1$ y $k_\infty$ para válvulas y accesorios estándar

### 1.1 Accesorios

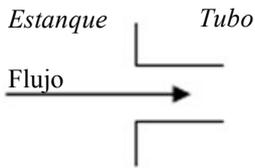
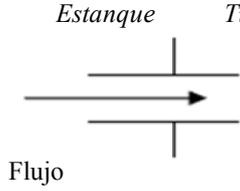
Válvula ó accesorio <sup>#</sup>	$k_1$	$k_\infty$
Codo 90°: standard (R/D = 1), con rosca	800	0,40
Codo 90°: standard (R/D = 1), con brida o soldados	800	0,25
Codo 90°: radio largo (R/D = 1,5), todos los tipos	800	0,20
Codo 45°: standard (R/D = 1), todos los tipos	500	0,20
Codo 45°: radio largo (R/D = 1,5), todos los tipos	500	0,15
Codo 180°: standard (R/D = 1), con rosca	1.000	0,60
Codo 180°: standard (R/D = 1), con brida o soldados	1.000	0,35
Codo 180°: radio largo (R/D = 1,5), todos los tipos	1.000	0,30
T usada como codo: standard, con rosca	500	0,70
T usada como codo: radio largo, con rosca	800	0,40
T usada como codo: standard, con brida o soldada	800	0,80

T (pasando a través de ella): con rosca	200	0,10
T (pasando a través de ella): con brida o soldada	150	0,50
Válvula de compuerta (abierta)	300	0,10
Válvula de globo, standard (abierta)	1.500	4,00
Válvula de globo, en ángulo o tipo Y (abierta)	1.000	2,00
Válvula de diafragma, tipo presa (abierta)	1.000	2,00
Mariposa	800	0,25
Válvula de retención (tipo elevador)	2.000	10,00
Válvula de retención (tipo swing)	1.500	1,50
Válvula de retención (con disco de inclinación)	1.000	0,50

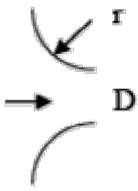
\* Excepto para algunas aplicaciones de alta presión, superficies de contacto enroscadas no están permitidas en los sistemas sanitarios (3A Standard número 63-10). Acero estándar con hilo es aceptable para sistemas de suministro de agua.

## 1.2 Entrada y Salida de contenedores hacia tuberías

$k_1$  y  $k_\infty$  para entrada o salida cuadrada desde un tanque a la cañería

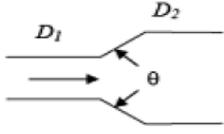
Tipo de entrada	$k_1$	$k_\infty$
Entrada del tubo, cuadrada.  <p><i>Estanque</i>      <i>Tubo</i></p> <p>Flujo →</p>	160	0,5
Entrada del tubo, proyectado hacia el estanque.  <p><i>Estanque</i>      <i>Tubo</i></p> <p>Flujo →</p>	160	1,0
Salida del tubo (todas las geometrías)	0	1,0

Valores de  $k_1$  y  $k_\infty$  para salidas redondeadas desde un tanque a la cañería

Tipo de salida	$r/D$	$k_1$	$k_\infty$
	0,0 (filoso)		0,5
	0,02		0,28
	0,04		0,24
	0,06	160 para todos	0,15
	0,10	$r/D$	0,09
	0,15 (y más)		0,04

Fuente: Darby, R. 2001. Chemical Engineering Fluid Mechanics (Segunda Edición). Marcel Dekker, New York, p. 213.

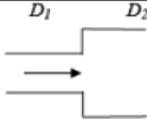
### 1.3 Cambios de diámetros (Contracción y expansión)

	
Expansión cónica de tubos	
Entrada $N_{Re}$	$k_f$ basado en la velocidad de entrada
$0^\circ < \theta < 45^\circ$ y $N_{Re} \leq 4.000$ ó $N_{Re} > 4.000$	$k_f = 2 \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 \right] \left[ 2,6 \operatorname{sen} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]$ ó $k_f = [1 + 3,2f] \left\{ \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \right\} \left[ 2,6 \operatorname{sen} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]$
$45^\circ < \theta < 180^\circ$ y $N_{Re} \leq 4.000$ ó $N_{Re} > 4.000$	$k_f = 2 \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 \right]$ ó $k_f = [1 + 3,2f] \left\{ \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \right\}$

Fuente: Hooper, W.B. 1988. Chemical Engr. Nov. 7, 89-92.

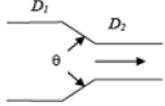
$N_{Re}$  es el valor aguas arriba de Reynolds;  $f$  = factor de fricción de Fanning calculado usando el número de Reynolds aguas arriba; usar  $N_{Re, PL}$  en lugar de  $N_{Re}$  para fluidos de la ley de potencia;  $\theta$  = ángulo, grados.

Nota:  $\theta$  para expansiones sanitarias está entre 0 y 45 grados.

	
Expansión cuadrada	
Entrada $N_{Re}$	$k_f$ basado en la velocidad de entrada
$N_{Re} \leq 4.000$ ó $N_{Re} > 4.000$	$k_f = 2 \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 \right]$ ó $k_f = [1 + 3,2f] \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2$

Fuente: Hooper, W.B. 1988. Chemical Engr. Nov. 7, 89-92

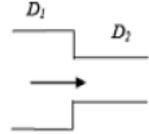
$N_{Re}$  es el número de Reynolds aguas arriba;  $f$  = factor de fricción de Fanning calculado con el número de Reynolds aguas arriba, usar  $N_{Re, PL}$  en lugar de  $N_{Re}$  para fluidos de la Ley de Potencia.

	
<b>Contracciones cónicas</b>	
$N_{Re}$ entrada	$k_f$ basado en la velocidad de entrada
$0^\circ < \theta < 45^\circ$ y $N_{Re} \leq 2.500$ ó $N_{Re} > 2.500$	$k_f = \left[ 1,2 + \frac{1601}{N_{Re}} \left[ \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right] \right] \left[ 1,6 \operatorname{sen} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]$ ó $k_f = [0,6 + 1,92f] \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \left[ \left( \frac{D_1}{D_2} \right) - 1 \right] \left[ 1,6 \operatorname{sen} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]$
$45^\circ < \theta < 180^\circ$ y $N_{Re} \leq 2.500$ ó $N_{Re} > 2.500$	$k_f = \left[ 1,2 + \frac{1601}{N_{Re}} \left[ \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right] \right] \left( \operatorname{sen} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right)^{1/2}$ ó $k_f = [0,2 + 1,92f] \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \left[ \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 - 1 \right] \left( \operatorname{sen} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right)^{1/2}$

Fuente: Hooper, W.B. 1988. Chemical Engr. Nov 7, 89-92.

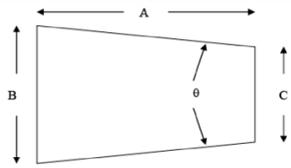
$N_{Re}$  es el número de Reynolds aguas arriba;  $f$  = factor de fricción de Fanning calculado con el número de Reynolds aguas arriba, usar  $N_{Re,PL}$  en lugar de  $N_{Re}$  para fluidos de la ley de potencia,  $\theta$  = ángulo, grados.

Nota  $\theta$  para expansiones sanitarias está entre 0 y 45 grados.

	
<b>Contracción cuadrada de tubo</b>	
$N_{Re}$ entrada	$k_f$ basado en la velocidad de entrada
$N_{Re} \leq 2.500$ ó $N_{Re} > 2.500$	$k_f = \left[ 1,2 + \frac{1601}{N_{Re}} \left[ \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right] \right]$ ó $k_f = [0,6 + 1,92f] \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \left[ \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 - 1 \right]$

Fuente: Hooper, W.B. 1988. Chemical Engr. Nov. 7, 89-92.

$N_{Re}$  es el valor de Reynolds aguas arriba;  $f$  = factor de fricción de Fanning calculado con el número de Reynolds aguas arriba; usar  $N_{Re,PL}$  en lugar de  $N_{Re}$  para fluidos de la ley de potencia.



Dimensiones de  
reductores o  
expansores  
típicos para

Tamaño	A, pulgadas	B, pulgada s	C, pulgada s	q, grados
$\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{2}$ "	2	0,75	0,5	7,1
$1$ " x $\frac{1}{2}$ "	2,5	1	0,5	11,4
$1$ " x $\frac{3}{4}$ "	2	1	0,75	7,1
$1\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{2}$ "	3,5	1,5	0,5	16,2
$1\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{2}$ "	4	1,5	0,75	10,7
$1\frac{1}{2}$ " x $\frac{3}{4}$ "	3	1,5	1	9,5
$1\frac{1}{2}$ " x $1$ "	4,25	2	0,75	16,7
$2$ " x $\frac{3}{4}$ "	5	2	1	11,4
$2$ " x $1$ "	3	2	1,5	9,5
$2$ " x $1\frac{1}{2}$ "	5	2,5	1,	11,4
$2$ " x $1\frac{1}{2}$ "	3	2,5	5 2	9,5
$1\frac{1}{2}$ " x $1\frac{1}{2}$ "	7	3	1,	12,2
$1\frac{1}{2}$ " x $1\frac{1}{2}$ "	5	3	5 2	11,4

2 ½" x	3	3	2,5	9,5
2" 3" x 1	9,125	4	2	12,5
½"	7,125	4	2,5	12,0
3" x 2"	5,125	4	3	11,1
3" x 2½"				
4" x 2"				
4" x 2½"				
4" x 3"				

Nota q = 180° para entrada o salida de borde afilado

## 2. Factores de fricción de Fanning para fluidos de Ley de Potencia

$N_{Re,PL}$	$n = 0.2$	$n = 0.3$	$n = 0.4$	$n = 0.5$	$n = 0.6$	$n = 0.7$	$n = 0.8$	$n = 0.9$
2100	0.00762	0.00762	0.00762	0.00762	0.00762	0.00762	0.00762	0.00762
2200	0.00727	0.00727	0.00727	0.00727	0.00727	0.00727	0.00727	0.00727
2300	0.00696	0.00696	0.00696	0.00696	0.00696	0.00696	0.00717	0.00763
2400	0.00667	0.00667	0.00667	0.00667	0.00667	0.00697	0.00745	0.00795
2500	0.00640	0.00640	0.00640	0.00640	0.00670	0.00719	0.00771	0.00825
2600	0.00615	0.00615	0.00615	0.00635	0.00686	0.00739	0.00794	0.00851
2700	0.00593	0.00593	0.00592	0.00645	0.00700	0.00756	0.00815	0.00875
2800	0.00571	0.00571	0.00596	0.00571	0.00711	0.00571	0.00832	0.00571
2900	0.00489	0.00541	0.00599	0.00659	0.00720	0.00782	0.00845	0.00909
3000	0.00487	0.00540	0.00601	0.00663	0.00726	0.00791	0.00855	0.00920
3100	0.00483	0.00538	0.00600	0.00665	0.00730	0.00796	0.00862	0.00927
3200	0.00480	0.00535	0.00599	0.00665	0.00732	0.00799	0.00866	0.00931
3300	0.00475	0.00532	0.00597	0.00664	0.00733	0.00800	0.00867	0.00933
3400	0.00471	0.00528	0.00594	0.00663	0.00731	0.00800	0.00867	0.00932
3500	0.00467	0.00524	0.00591	0.00660	0.00729	0.00798	0.00865	0.00930
3600	0.00462	0.00520	0.00587	0.00656	0.00726	0.00796	0.00863	0.00927
3700	0.00457	0.00515	0.00583	0.00653	0.00723	0.00792	0.00859	0.00924
3800	0.00453	0.00511	0.00578	0.00649	0.00719	0.00788	0.00855	0.00920
3900	0.00448	0.00506	0.00574	0.00645	0.00715	0.00784	0.00851	0.00915
4000	0.00444	0.00502	0.00570	0.00640	0.00711	0.00780	0.00847	0.00910
4100	0.00440	0.00498	0.00565	0.00636	0.00706	0.00775	0.00842	0.00906
4200	0.00435	0.00493	0.00561	0.00631	0.00702	0.00771	0.00837	0.00901
4300	0.00431	0.00489	0.00557	0.00627	0.00698	0.00766	0.00833	0.00896
4400	0.00427	0.00485	0.00553	0.00623	0.00693	0.00762	0.00828	0.00891
4500	0.00423	0.00481	0.00548	0.00619	0.00689	0.00757	0.00823	0.00886
4600	0.00420	0.00477	0.00544	0.00614	0.00684	0.00753	0.00819	0.00882
4700	0.00416	0.00473	0.00540	0.00610	0.00680	0.00749	0.00814	0.00877
4800	0.00412	0.00470	0.00537	0.00606	0.00676	0.00744	0.00810	0.00873
4900	0.00409	0.00466	0.00533	0.00602	0.00672	0.00740	0.00806	0.00868
5000	0.00405	0.00462	0.00529	0.00599	0.00668	0.00736	0.00802	0.00864
5100	0.00402	0.00459	0.00525	0.00595	0.00664	0.00732	0.00798	0.00860
5200	0.00398	0.00456	0.00522	0.00591	0.00660	0.00728	0.00793	0.00856
5300	0.00395	0.00452	0.00518	0.00587	0.00657	0.00724	0.00790	0.00852
5400	0.00392	0.00449	0.00515	0.00584	0.00653	0.00721	0.00786	0.00848

$N_{Re, PL}$	$n = 0.2$	$n = 0.3$	$n = 0.4$	$n = 0.5$	$n = 0.6$	$n = 0.7$	$n = 0.8$	$n = 0.9$
5500	0.00389	0.00446	0.00512	0.00580	0.00649	0.00717	0.00782	0.00844
5600	0.00386	0.00443	0.00508	0.00577	0.00646	0.00713	0.00778	0.00840
5700	0.00383	0.00440	0.00505	0.00574	0.00642	0.00710	0.00775	0.00837
5800	0.00380	0.00437	0.00502	0.00571	0.00639	0.00706	0.00771	0.00833
5900	0.00378	0.00434	0.00499	0.00567	0.00636	0.00703	0.00768	0.00830
6000	0.00375	0.00431	0.00496	0.00564	0.00633	0.00700	0.00764	0.00826
6100	0.00372	0.00428	0.00493	0.00561	0.00629	0.00696	0.00761	0.00823
6200	0.00370	0.00426	0.00491	0.00558	0.00626	0.00693	0.00758	0.00819
6300	0.00367	0.00423	0.00488	0.00555	0.00623	0.00690	0.00754	0.00816
6400	0.00365	0.00421	0.00485	0.00553	0.00620	0.00687	0.00751	0.00813
6500	0.00363	0.00418	0.00482	0.00550	0.00618	0.00684	0.00748	0.00810
6600	0.00360	0.00416	0.00480	0.00547	0.00615	0.00681	0.00745	0.00807
6700	0.00358	0.00413	0.00477	0.00544	0.00612	0.00678	0.00742	0.00804
6800	0.00356	0.00411	0.00475	0.00542	0.00609	0.00675	0.00739	0.00801
6900	0.00353	0.00409	0.00472	0.00539	0.00606	0.00673	0.00737	0.00798
7000	0.00351	0.00406	0.00470	0.00537	0.00604	0.00670	0.00734	0.00795
7100	0.00349	0.00404	0.00468	0.00534	0.00601	0.00667	0.00731	0.00792
7200	0.00347	0.00402	0.00465	0.00532	0.00599	0.00665	0.00728	0.00790
7300	0.00345	0.00400	0.00463	0.00529	0.00596	0.00662	0.00726	0.00787
7400	0.00343	0.00398	0.00461	0.00527	0.00594	0.00659	0.00723	0.00784
7500	0.00341	0.00396	0.00459	0.00525	0.00591	0.00657	0.00720	0.00782
7600	0.00339	0.00394	0.00457	0.00523	0.00589	0.00654	0.00718	0.00779
7700	0.00337	0.00392	0.00454	0.00520	0.00587	0.00652	0.00715	0.00776
7800	0.00335	0.00390	0.00452	0.00518	0.00584	0.00650	0.00713	0.00774
7900	0.00334	0.00388	0.00450	0.00516	0.00582	0.00647	0.00711	0.00772
8000	0.00332	0.00386	0.00448	0.00514	0.00580	0.00645	0.00708	0.00769
8100	0.00330	0.00384	0.00446	0.00512	0.00578	0.00643	0.00706	0.00767
8200	0.00328	0.00382	0.00444	0.00510	0.00576	0.00641	0.00704	0.00764
8300	0.00327	0.00380	0.00443	0.00508	0.00574	0.00638	0.00701	0.00762
8400	0.00325	0.00379	0.00441	0.00506	0.00571	0.00636	0.00699	0.00760
8500	0.00323	0.00377	0.00439	0.00504	0.00569	0.00634	0.00697	0.00758
8600	0.00322	0.00375	0.00437	0.00502	0.00567	0.00632	0.00695	0.00755
8700	0.00320	0.00374	0.00435	0.00500	0.00565	0.00630	0.00693	0.00753
8800	0.00319	0.00372	0.00433	0.00498	0.00563	0.00628	0.00691	0.00751
8900	0.00317	0.00370	0.00432	0.00496	0.00562	0.00626	0.00689	0.00749
9000	0.00316	0.00369	0.00430	0.00495	0.00560	0.00624	0.00687	0.00747
9100	0.00314	0.00367	0.00428	0.00493	0.00558	0.00622	0.00685	0.00745

$N_{Re, PL}$	$n = 0.2$	$n = 0.3$	$n = 0.4$	$n = 0.5$	$n = 0.6$	$n = 0.7$	$n = 0.8$	$n = 0.9$
9200	0.00313	0.00366	0.00427	0.00491	0.00556	0.00620	0.00683	0.00743
9300	0.00311	0.00364	0.00425	0.00489	0.00554	0.00618	0.00681	0.00741
9400	0.00310	0.00363	0.00423	0.00488	0.00552	0.00616	0.00679	0.00739
9500	0.00308	0.00361	0.00422	0.00486	0.00551	0.00615	0.00677	0.00737
9600	0.00307	0.00360	0.00420	0.00484	0.00549	0.00613	0.00675	0.00735
9700	0.00306	0.00358	0.00419	0.00483	0.00547	0.00611	0.00673	0.00733
9800	0.00304	0.00357	0.00417	0.00481	0.00545	0.00609	0.00671	0.00731
9900	0.00303	0.00355	0.00416	0.00479	0.00544	0.00607	0.00670	0.00729
10000	0.00302	0.00354	0.00414	0.00478	0.00542	0.00606	0.00668	0.00728
12000	0.00279	0.00330	0.00388	0.00450	0.00513	0.00575	0.00636	0.00695
14000	0.00261	0.00311	0.00368	0.00428	0.00490	0.00551	0.00611	0.00669
16000	0.00247	0.00295	0.00351	0.00410	0.00470	0.00530	0.00590	0.00647
18000	0.00235	0.00282	0.00337	0.00394	0.00454	0.00513	0.00572	0.00629
20000	0.00225	0.00271	0.00324	0.00381	0.00439	0.00498	0.00556	0.00612
22000	0.00216	0.00261	0.00313	0.00369	0.00427	0.00485	0.00542	0.00598
24000	0.00208	0.00252	0.00304	0.00359	0.00416	0.00473	0.00530	0.00585
26000	0.00201	0.00245	0.00295	0.00350	0.00406	0.00463	0.00519	0.00574
28000	0.00195	0.00238	0.00288	0.00341	0.00397	0.00453	0.00509	0.00563
30000	0.00189	0.00232	0.00281	0.00334	0.00389	0.00444	0.00499	0.00554
32000	0.00184	0.00226	0.00275	0.00327	0.00381	0.00436	0.00491	0.00545
34000	0.00179	0.00221	0.00269	0.00321	0.00374	0.00429	0.00483	0.00537
36000	0.00175	0.00216	0.00263	0.00315	0.00368	0.00422	0.00476	0.00529
38000	0.00171	0.00211	0.00258	0.00309	0.00362	0.00416	0.00469	0.00522
40000	0.00167	0.00207	0.00254	0.00304	0.00356	0.00410	0.00463	0.00515
42000	0.00164	0.00203	0.00249	0.00299	0.00351	0.00404	0.00457	0.00509
44000	0.00161	0.00200	0.00245	0.00295	0.00346	0.00399	0.00451	0.00503
46000	0.00158	0.00196	0.00241	0.00290	0.00342	0.00394	0.00446	0.00498
48000	0.00155	0.00193	0.00238	0.00286	0.00337	0.00389	0.00441	0.00493
50000	0.00152	0.00190	0.00234	0.00283	0.00333	0.00385	0.00436	0.00488
52000	0.00150	0.00187	0.00231	0.00279	0.00329	0.00380	0.00432	0.00483
54000	0.00147	0.00184	0.00228	0.00276	0.00325	0.00376	0.00428	0.00478
56000	0.00145	0.00182	0.00225	0.00272	0.00322	0.00372	0.00423	0.00474
58000	0.00143	0.00179	0.00222	0.00269	0.00318	0.00369	0.00420	0.00470
60000	0.00141	0.00177	0.00220	0.00266	0.00315	0.00365	0.00416	0.00466
62000	0.00139	0.00175	0.00217	0.00263	0.00312	0.00362	0.00412	0.00462
64000	0.00137	0.00173	0.00215	0.00261	0.00309	0.00359	0.00409	0.00459
66000	0.00135	0.00171	0.00212	0.00258	0.00306	0.00356	0.00405	0.00455

### 3. Viscosidad (mPa s o cP) del agua

T ° C	Presión (MPa)							
	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2
0	1,792	1,792	1,792	1,792	1,791	1,1791	0,1789	1,787
10	1,306	1,306	1,306	1,306	1,306	1,305	1,305	1,304
20	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,001	1,001	1,009
25	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890
30	0,797	0,797	0,797	0,797	0,797	0,797	0,797	0,797
40	0,653	0,653	0,653	0,653	0,653	0,653	0,653	0,653
50		0,547	0,547	0,547	0,547	0,547	0,547	0,547
60		0,466	0,466	0,466	0,466	0,467	0,467	0,467
70			0,404	0,404	0,404	0,404	0,404	0,404
80			0,354	0,354	0,354	0,355	0,355	0,355
90				0,314	0,314	0,315	0,315	0,315
100					0,282	0,282	0,282	0,282
110					0,255	0,255	0,255	0,255
120					0,232	0,232	0,232	0,233
130						0,213	0,213	0,213
140						0,197	0,197	0,197
150						0,183	0,183	0,183
160							0,170	0,171
170							0,160	0,160

180								0,150
190								0,142
200								0,134

Nota: 1 atm = 0,101 MPa = 14,96 psi

Fuente: ASME, 2000. ASME Tablas Internacionales de Vapor para Uso Industrial, ASME Press, New York.

#### 4. Propiedades del agua saturada

T °C	T °F	abs P* kPa	abs P* psi	vacío pulg Hg	densidad kg/cm <sup>3</sup>	densidad lbm/pie <sup>3</sup>
0,01	32,018	0,6117	0,089	29,74	999,8	62,42
5	41	0,8726	0,127	29,66	999,9	62,42
10	50	1,228	0,178	29,56	999,7	62,41
15	59	1,706	0,247	29,42	999,1	62,37
20	68	2,339	0,339	29,23	998,2	62,33
25	77	3,170	0,460	29,98	997,0	62,24
30	86	4,247	0,616	28,67	995,6	62,15
35	95	5,629	0,816	28,26	994,0	62,06
40	104	7,384	1,071	27,74	992,2	61,94
45	113	9,594	1,391	27,09	990,2	61,82
50	122	12,351	1,791	26,27	988,0	61,68
55	131	15,761	2,286	25,27	985,7	61,54
60	140	19,946	2,893	24,03	983,2	61,38
65	149	25,041	3,632	22,53	980,5	61,21
70	158	31,201	4,525	20,71	977,7	61,04
75	167	38,595	5,598	18,52	974,8	60,86
80	176	47,415	6,877	15,92	971,8	60,67
85	185	57,867	8,393	12,83	968,6	60,47
90	194	70,182	10,179	9,20	965,3	60,26
95	203	84,609	12,271	4,94	961,9	60,05
100	212	101,42	14,710	0	958,3	59,83

105	221	120,90	17,535	0	954,7	59,60
110	230	143,38	20,795	0	950,9	59,36
115	239	169,18	24,537	0	947,1	59,12
120	248	198,67	28,815	0	943,1	58,88

T °C	T °F	abs P* kPa	abs P* psi	vacío pulg Hg	densidad kg/cm <sup>3</sup>	densidad lbm/pie <sup>3</sup>
125	257	232,22	33,681	0	939,1	58,62
130	266	270,26	39,198	0	934,8	58,36
135	275	313,20	45,426	0	930,5	58,09
140	284	361,50	52,431	0	926,1	57,81
145	293	415,63	60,282	0	921,7	57,54
150	302	476,10	68,052	0	917,0	57,25
155	311	543,57	78,838	0	912,2	56,95
160	320	618,14	89,653	0	907,4	56,65
165	329	700,99	101,67	0	902,5	56,34
170	338	792,05	114,88	0	897,4	56,02
175	347	892,65	129,47	0	892,3	55,70
180	356	1.000,3	145,08	0	887,0	55,37
185	365	1.123,5	162,95	0	881,6	55,04
190	374	1.255,0	182,02	0	876,1	54,69
195	383	1.398,9	202,89	0	870,4	54,34
200	392	1.554,7	225,49	0	864,7	53,98
205	401	1.724,4	250,10	0	858,7	53,61

\* Presión absoluta

Fuente: ASME, 2000. ASME Tablas Internacionales de Vapor para uso Industrial. The American Society of Mechanical Engineers, ASME Press, New York.

## 5. Calor específico del agua en rango de temperatura de 0 °C a 100 °C

Calor específico del agua entre 0 °C y 100 °C

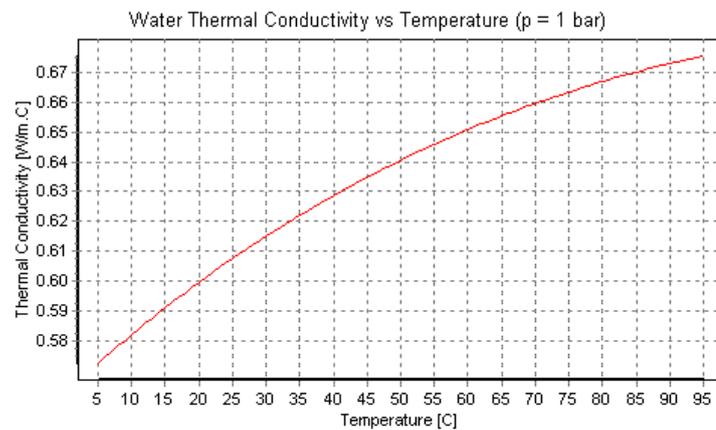
[www.vaxasoftware.com](http://www.vaxasoftware.com)

Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico	
	$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$		$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$		$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$
0 (hielo)	1,960	0,468	34	4,178	0,999	68	4,189	1,001
1	4,217	1,008	35	4,178	0,999	69	4,189	1,001
2	4,213	1,007	36	4,178	0,999	70	4,190	1,001
3	4,210	1,006	37	4,178	0,999	71	4,190	1,001
4	4,207	1,005	38	4,178	0,999	72	4,191	1,002
5	4,205	1,005	39	4,179	0,999	73	4,192	1,002
6	4,202	1,004	40	4,179	0,999	74	4,192	1,002
7	4,200	1,004	41	4,179	0,999	75	4,193	1,002
8	4,198	1,003	42	4,179	0,999	76	4,194	1,002
9	4,196	1,003	43	4,179	0,999	77	4,194	1,002
10	4,194	1,002	44	4,179	0,999	78	4,195	1,003
11	4,192	1,002	45	4,180	0,999	79	4,196	1,003
12	4,191	1,002	46	4,180	0,999	80	4,196	1,003
13	4,189	1,001	47	4,180	0,999	81	4,197	1,003
14	4,188	1,001	48	4,180	0,999	82	4,198	1,003
15	4,187	1,001	49	4,181	0,999	83	4,199	1,004
16	4,186	1,000	50	4,181	0,999	84	4,200	1,004
17	4,185	1,000	51	4,181	0,999	85	4,200	1,004
18	4,184	1,000	52	4,182	1,000	86	4,201	1,004
19	4,183	1,000	53	4,182	1,000	87	4,202	1,004
20	4,182	1,000	54	4,182	1,000	88	4,203	1,005
21	4,182	1,000	55	4,183	1,000	89	4,204	1,005
22	4,181	0,999	56	4,183	1,000	90	4,205	1,005
23	4,181	0,999	57	4,183	1,000	91	4,206	1,005
24	4,180	0,999	58	4,184	1,000	92	4,207	1,005
25	4,180	0,999	59	4,184	1,000	93	4,208	1,006
26	4,180	0,999	60	4,185	1,000	94	4,209	1,006
27	4,179	0,999	61	4,185	1,000	95	4,210	1,006
28	4,179	0,999	62	4,186	1,000	96	4,211	1,006
29	4,179	0,999	63	4,186	1,000	97	4,212	1,007
30	4,178	0,999	64	4,187	1,001	98	4,213	1,007
31	4,178	0,999	65	4,187	1,001	99	4,214	1,007
32	4,178	0,999	66	4,188	1,001	100	4,216	1,008
33	4,178	0,999	67	4,188	1,001	100 (gas)	2,080	0,497

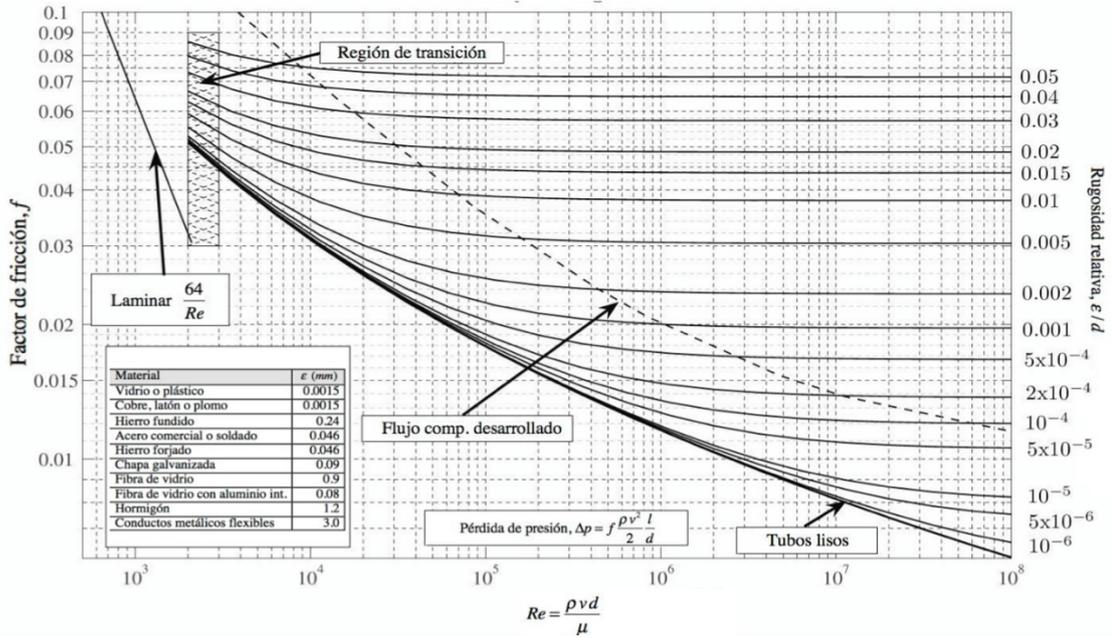
[www.vaxasoftware.com](http://www.vaxasoftware.com)

## 6. Conductividad térmica del agua en rango de temperatura de 0 °C a 100

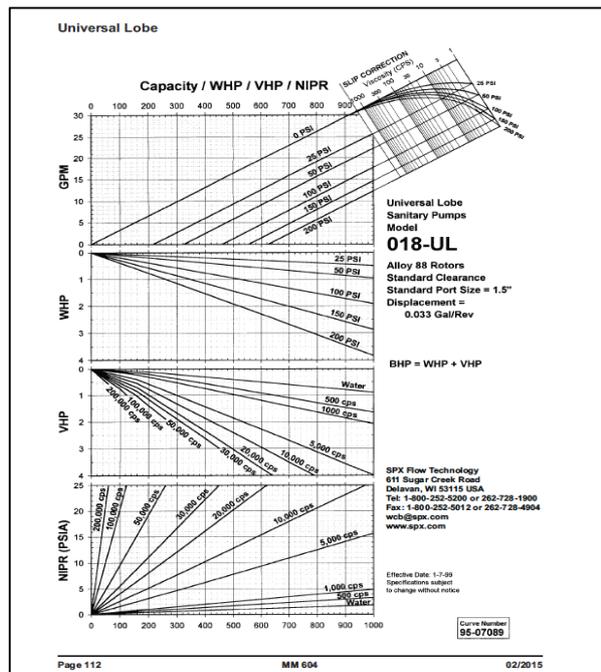
°C



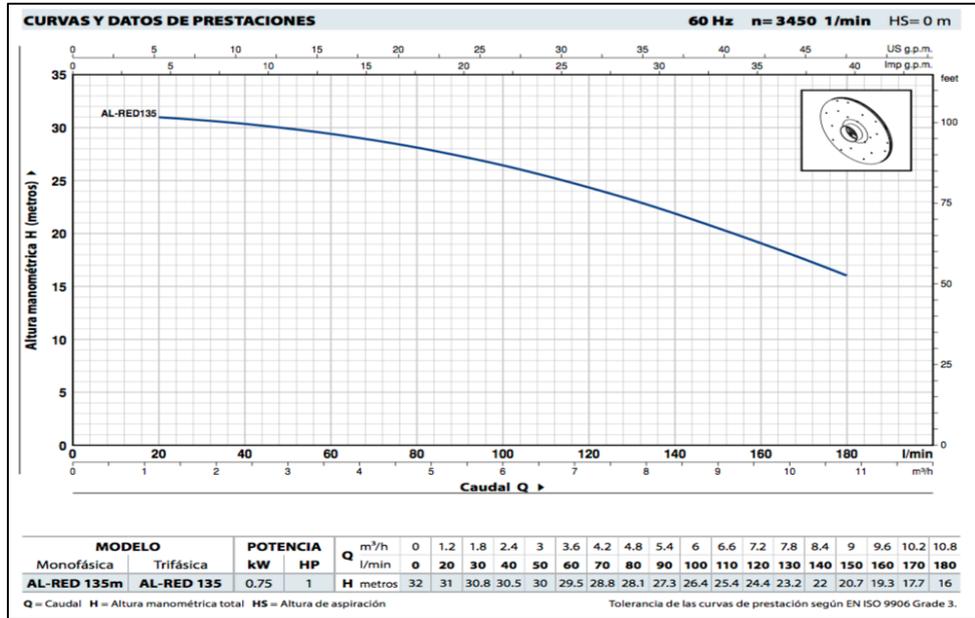
7. Tabla de correlación, rugosidad interna del tubo, número de Reynolds y numero de Fanning



8. Curva de bomba marca Waukesha (SPX- Flow)/Modelo 018-UL



## 9. Curva de bomba de agua (Pedrollo)/ Modelo AL-RED 135



## 10. Diámetros para tubos y tuberías de acero inoxidable estándar AISI

Tamaño Nominal	Tuberías sanitarias		Tubo Schedule 40	
Pulgada	D.I.* Pulgada	D.E.# Pulgada	D.I.* Pulgada	D.E.# Pulgada
½	0,37	0,50	0,62	0,84
¾	0,62	0,75	0,82	1,05
1	0,87	1,00	1,05	1,32
1 ½	1,37	1,50	1,61	1,90
2	1,87	2,00	2,07	2,38
2 ½	2,37	2,50	2,47	2,88
3	2,83	3,00	3,07	3,50
4	3,83	4,00	4,03	4,50
6	5,78	6,00	6,07	6,63
8	7,78	8,00	7,98	8,63
Pulgada	D.I.* mm	D.E.# mm	D.I.* mm	D.E.# mm
½	9,4	12,7	15,8	21,3
¾	15,7	19,1	20,9	26,7
1	22,1	25,4	26,6	33,4
1 ½	34,8	38,1	40,9	48,3

2	47,5	50,8	52,5	60,3
2 ½	60,2	63,5	62,7	73,0
3	72,0	76,2	77,9	88,9
4	97,4	101,6	102,3	114,3
6	146,9	152,4	154,1	168,3
8	197,7	203,2	202,7	219,1

\* D.I. = Diámetro interior

# D.E. = Diámetro exterior

## 11. Especificación técnica de tubería de acero inoxidable AISI 316L

### Specification Sheet: Alloy 316/316L (UNS S31600, S31603) W. Nr. 1.4401, 1.4404

#### An Austenitic Stainless Steel Containing Molybdenum Which is More Corrosion Resistant than the Conventional 304/304L Stainless Steel

Alloy 316/316L (UNS S31600/S31603) is a chromium-nickel-molybdenum austenitic stainless steel developed to provide improved corrosion resistance to Alloy 304/304L in moderately corrosive environments. It is often utilized in process streams containing chlorides or halides. The addition of molybdenum improves general corrosion and chloride pitting resistance. It also provides higher creep, stress-to-rupture and tensile strength at elevated temperatures.

It is common practice for 316L to be dual certified as 316 and 316L. The low carbon chemistry of 316L combined with an addition of nitrogen enables 316L to meet the mechanical properties of 316.

Alloy 316/316L resists atmospheric corrosion, as well as, moderately oxidizing and reducing environments. It also resists corrosion in polluted marine atmospheres. The alloy has excellent resistance to intergranular corrosion in the as-welded condition. Alloy 316/316L has excellent strength and toughness at cryogenic temperatures.

Alloy 316/316L is non-magnetic in the annealed condition, but can become slightly magnetic as a result of cold working or welding. It can be easily welded and processed by standard shop fabrication practices.

#### Standards

ASTM ..... A 240  
ASME ..... SA 240  
AMS ..... 5524/5507  
QQ-S ..... 766

#### Applications

- Chemical and Petrochemical Processing—pressure vessels, tanks, heat exchangers, piping systems, flanges, fittings, valves and pumps
- Food and Beverage Processing
- Marine
- Medical
- Petroleum Refining
- Pharmaceutical Processing
- Power Generation—nuclear
- Pulp and Paper
- Textiles
- Water Treatment

#### Chemical Analysis

Weight % (all values are maximum unless a range is otherwise indicated)

Element	316	316L
Chromium	16.0 min.–18.0 max.	16.0 min.–18.0 max.
Nickel	10.0 min.–14.0 max.	10.0 min.–14.0 max.
Molybdenum	2.00 min.–3.00 max.	2.00 min.–3.00 max.
Carbon	0.08	0.030
Manganese	2.00	2.00
Phosphorus	0.045	0.045
Sulfur	0.08	0.08
Silicon	0.75	0.75
Nitrogen	0.1	0.1
Iron	Balance	Balance

#### Physical Properties

<b>Density</b> 0.285 lbs./in <sup>3</sup> 7.90 g/cm <sup>3</sup>	<b>Specific Heat</b> 0.11 BTU/lb-°F (32–212°F) 450 J/kg-°K (0–100°C)
<b>Modulus of Elasticity</b> 29.0 x 10 <sup>6</sup> psi 200 GPa	<b>Thermal Conductivity 212°F (100°C)</b> 10.1 BTU/hr/ft <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> °F 14.6 W/m-°K
<b>Melting Range</b> 2450–2630°F 1390–1440°C	<b>Electrical Resistivity</b> 29.1 Microhm-in at 68°F 74 Microhm-cm at 20°C

#### Mean Coefficient of Thermal Expansion

Temperature Range			
°F	°C	in/in/°F	cm/cm °C
68–212	20–100	9.2 x 10 <sup>-6</sup>	16.6 x 10 <sup>-6</sup>
68–932	20–500	10.1 x 10 <sup>-6</sup>	18.2 x 10 <sup>-6</sup>
68–1832	20–1000	10.8 x 10 <sup>-6</sup>	19.4 x 10 <sup>-6</sup>



#### SANDMEYER STEEL COMPANY

ONE SANDMEYER LANE • PHILADELPHIA, PA 19110-3550  
800.688.3668 • TEL 815.464.7100 • FAX 815.677.1480

www.SandmeyerSteel.com

Providing Solutions, With Materials and  
Value Added Products, for Process Industries

Alloy 316/316L 06/2014



12. Propiedades físicas del acero inoxidable:

**Table 6 Room-temperature thermal conductivity values for selected stainless steels**

Type	UNS No.	Thermal conductivity at 20 °C (68 °F)	
		W/m · K	Btu/ft · h · °F
201	S20100	14.6	8.4
304	S30400	14.6	8.4
310	S31000	14.6	8.4
316	S31600	14.6	8.4
316Cb	S31640	14.6	8.4
321	S32100	14.6	8.4
347	S34700	14.6	8.4
410	S41000	25.1	14.5
420	S42000	25.1	14.5
430	S43000	20.9	12.1
...	S31803	16.7	9.6

**Table 8 Room-temperature specific heat values for selected stainless steels**

Type	UNS No.	Specific heat	
		J/kg · K	Btu/lb · °F
201	S20100	500	0.12
304	S30400	500	0.12
310	S31000	500	0.12
316	S31600	500	0.12
316Cb	S31640	500	0.12
321	S32100	500	0.12
403	S40300	460	0.11
420	S42000	460	0.11
430	S43000	460	0.11
...	S31803	460	0.11

M. Ruby y P. Blanchard Propiedades Físicas del Acero inoxidable, Paginas

111-158

## 13. Especificaciones técnicas de aislante térmico

Declaration of Performance (DOP)

ProRox WM 950<sup>ES</sup>

Declaración de prestaciones nº PROWM950ES-01

Issue Date: 01.06.2013

Print Date: 3/25/2014, 4:23 PM CET



*Este documento se emite basándose en el Certificado de conformidad CE nº 0751-CPD.2-012.0-08-01/13*

- Código único de designación del tipo de producto: ProRox WM 950<sup>ES</sup>
- Tipo, lote o número de serie u otro elemento que permita identificar al producto de construcción como el requerido en el artículo 11(4) de la CPR (Normativa de Productos de Construcción).
- Uso o usos previstos del producto de construcción, de acuerdo con la especificación técnica armonizada, conforme a lo previsto por el fabricante: aislamiento térmico de edificios y plantas industriales (ThiBEII).
- Nombre, nombre comercial registrado o marca comercial registrada y dirección de contacto del fabricante, según lo dispuesto en el artículo 11(5): ROCKWOOL Peninsular S.A.U., Pol. In. Caparroso, Crta. Zaragoza 31380 Caparroso - Navarra, Spain
- En su caso, nombre y dirección de contacto del representante autorizado cuyo mandato cumple con las tareas especificadas en el artículo 12. No procede.
- Sistema o sistemas de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones del producto de construcción que figuran en la CPR, Anexo V, Sistemas I y III.
- En el caso de Declaración de Prestaciones relativa a un producto de construcción sujeto a norma armonizada. El organismo notificado para la certificación nº 0751 ha llevado a cabo la determinación del tipo de producto, la inspección inicial de la planta de fabricación y del control de la producción de la fábrica, así como la supervisión continua y la valoración y evaluación del control de la producción de la fábrica, emitiendo el certificado de constancia de prestaciones para la reacción al fuego.  
Los laboratorios notificados de pruebas nº 0751 han elaborado los informes de las pruebas respecto a las demás características
- Prestaciones declaradas:

Características esenciales		Prestación						Norma europea armonizada	
Reacción al fuego		A1						EN 14303:2009	
Índice de absorción acústica		Absorción acústica: NPD							
Resistencia térmica	Conductividad térmica	T (°C)	50	100	150	200	250		300
		λ (W/mK)	0,039	0,045	0,053	0,062	0,072		0,084
		T (°C)	350	400	500	600	640		-
		λ (W/mK)	0,097	0,112	0,146	0,192	0,213		-
Espesor		Dn 40 mm - 120 mm, Tolerance class T2							
Permeabilidad al agua		Absorción de agua: WS1 (≤ 1 kg/m <sup>2</sup> )							
Permeabilidad al vapor de agua		Espesor de capa de aire equivalente a la difusión del vapor de agua: NPD							
Resistencia a compresión		Tensión de compresión a un 10% de deformación: NPD							
Tasa de emisión de sustancias corrosivas		Trazas de iones de cloruro solubles en agua: NPD Valor del pH: NPD							
Emisión de sustancias peligrosas		NPD							
Combustión ardiente continua		NPD							
Durabilidad de la reacción al fuego frente al envejecimiento o degradación		NPD							
Durabilidad de la resistencia térmica frente al envejecimiento o degradación		NPD							
Durabilidad de la reacción al fuego a altas temperaturas		NPD							
Durabilidad de la resistencia térmica frente a alta temperatura		Temperatura máxima de servicio: St(+640 (= 640 °C)							

El rendimiento del producto identificado en los puntos 1 y 2 es conforme con el rendimiento declarado en el punto 8. La presente Declaración de Conformidad se emite bajo la exclusiva responsabilidad del fabricante identificado en el punto 4.

Firmado en nombre del fabricante por:

Santiago Oses  
Technical Director

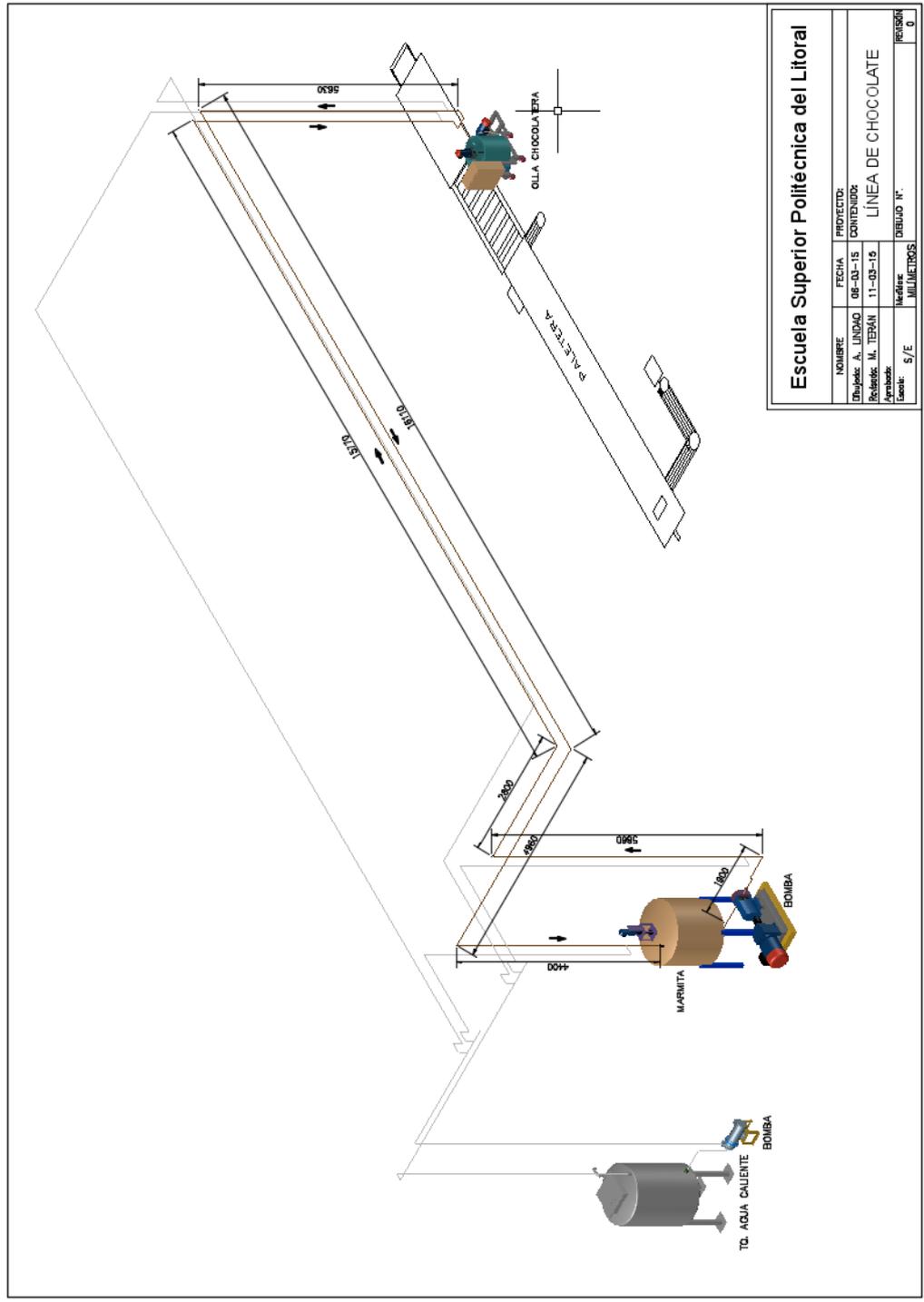
Caparroso, 01.06.2013

**ROCKWOOL®**  
TECHNICAL INSULATION

www.rockwool-rti.com

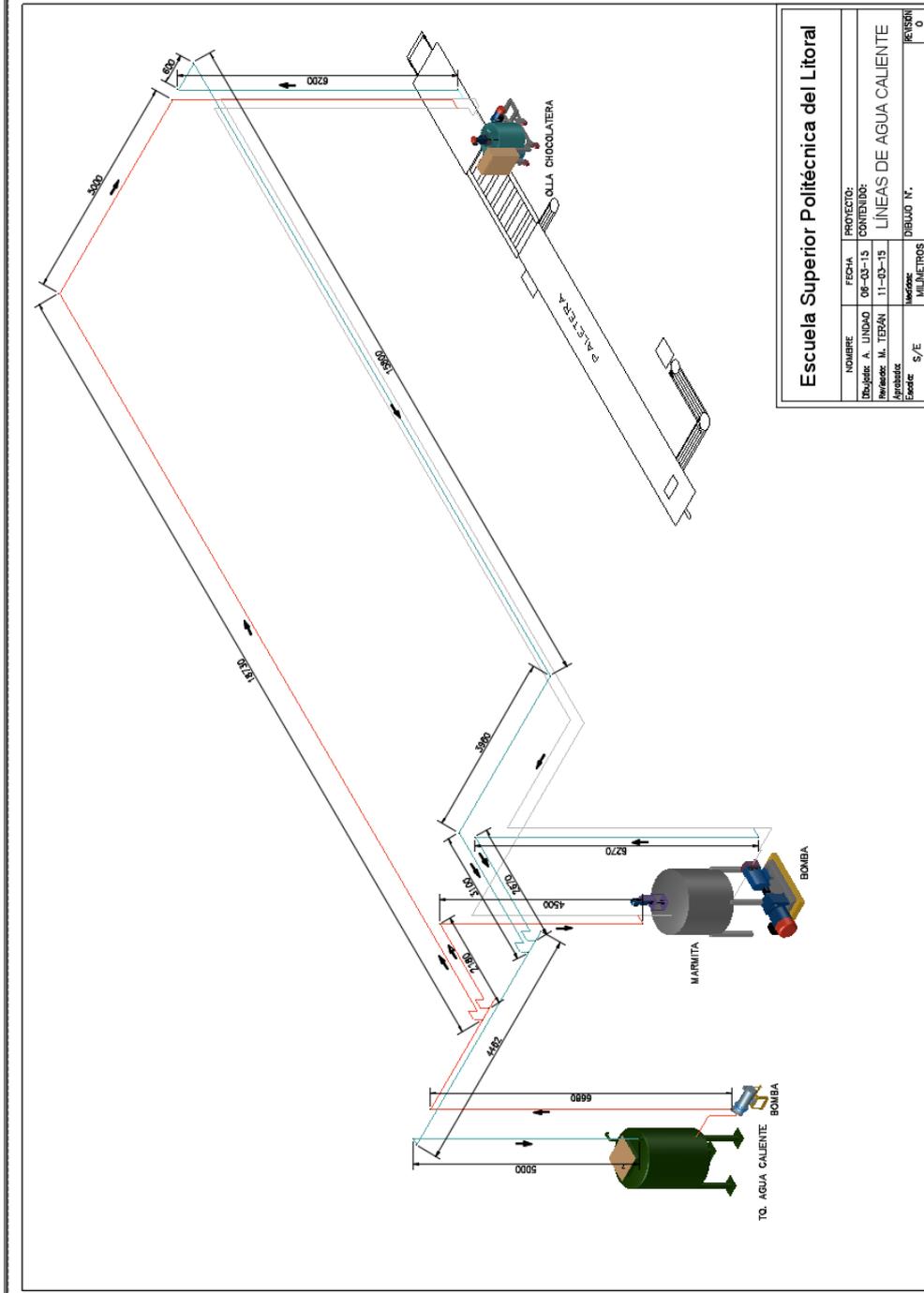
## **ANEXO C**

# 1. Plano 3D línea de transporte de chocolate



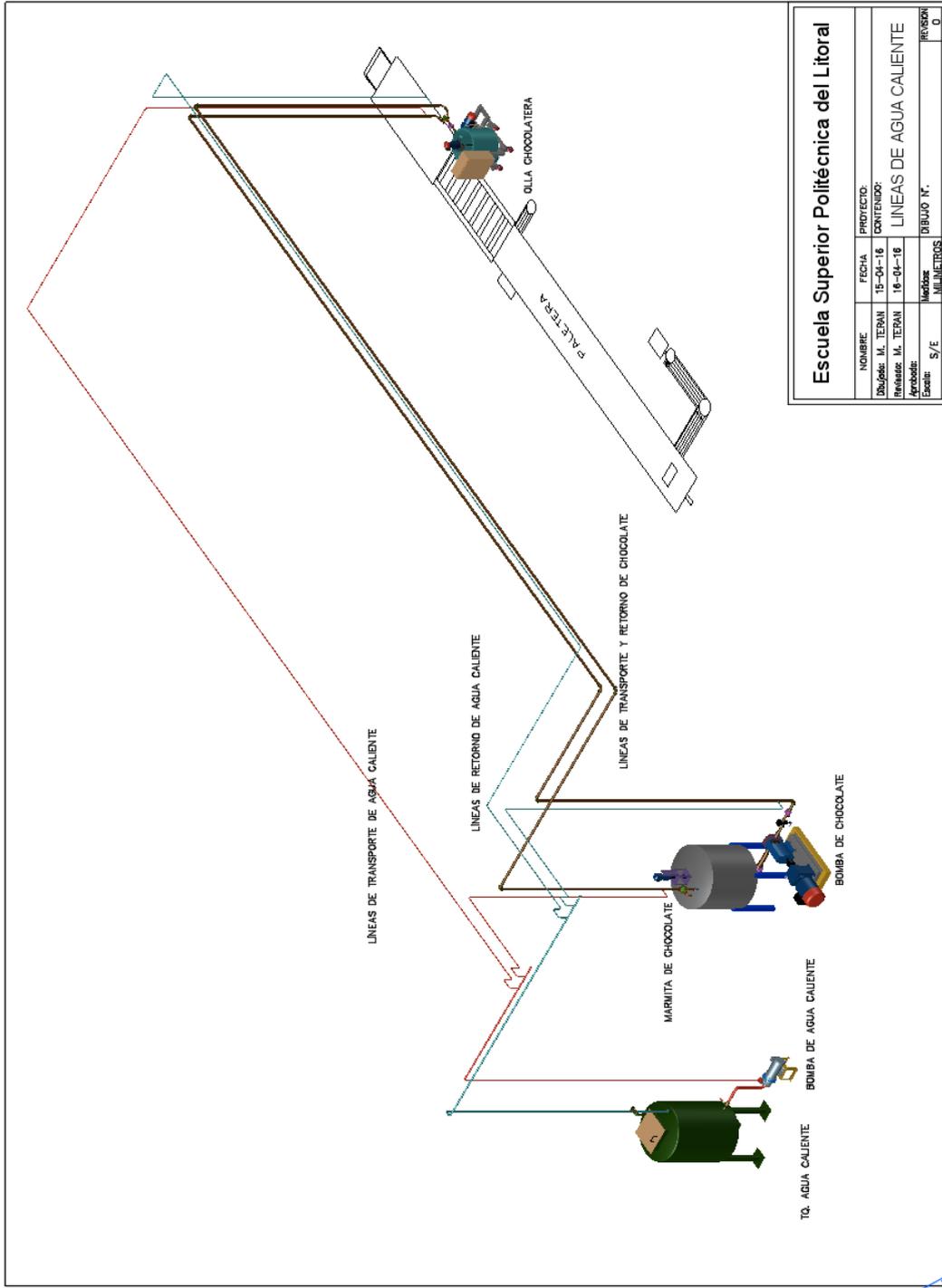
Escuela Superior Politécnica del Litoral			
NOMBRE	FECHA	PROYECTO	
Dibujante: A. LINDAO	08-03-15	CONTENIDO:	LÍNEA DE CHOCOLATE
Revisado: M. TEBAN	11-03-15	Apuntes:	
Escala: 5/1		Medida:	MILÍMETROS
		DIBUJO N.º	REVISIÓN
			0

## 2. Plano 3D línea de agua caliente (Ida y retorno)



Escuela Superior Politécnica del Litoral			
NOMBRE	FECHA	PROYECTO	CONTENIDO
Dibujante: A. LINDAO	06-03-15		
Revisado: M. TEJAN	11-03-15		LÍNEAS DE AGUA CALIENTE
Aprobado:			
Escala: S/E			DIBUJO N.º
			MILÍMETROS
			REVISIÓN
			0

### 3. Diseño final de sistema de transporte



Escuela Superior Politécnica del Litoral

NOMBRE	FECHA	PROYECTO:
Dibujante: M. TERAN	18-04-18	CONTENIDO:
Aprobado: M. TERAN	18-04-18	LINEAS DE AGUA CALIENTE
Escala: S/E	Medida:	BIBLIOP. N°:
	MILIMETROS	PERSONA:
		D