

**ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA DE LA
LINEA DE YOGURT EN LA PLANTA DE DERIVADOS DE LA EMPRESA
FRESKALECHE S.A.**

SILVIA JULIANA CHACÓN RANGEL

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011

**ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA DE LA
LINEA DE YOGURT EN LA PLANTA DE DERIVADOS DE LA EMPRESA
FRESKALECHE S.A.**

SILVIA JULIANA CHACÓN RANGEL

**Trabajo de grado para optar por el título de
INGENIERA QUÍMICA**

Director:

**CARLOS JESUS MUVDI NOVA
Ingeniero Químico**

Codirector:

**YESID HERNÁNDEZ VÁSQUEZ
Ingeniero de Alimentos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. INDUSTRIA LÁCTEA	12
1.1 GENERALIDADES	12
1.2 LA LIMPIEZA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA	12
1.3 SISTEMA DE LIMPIEZA CIP (<i>Clean in place</i>)	13
1.3.1 Aspectos básicos	13
1.3.2 Reglas para un diseño higiénico	14
1.3.3 Conceptos de diseño.	15
1.4 VERIFICACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA LIMPIEZA.	16
2. DESCRIPCIÓN DE PROTOCOLOS Y PROCESOS	18
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE YOGURT	18
2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN ACTUAL	19
2.3 PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN	22
2.4 CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	23
3. EVALUACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	35
4. COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA ACTUAL Y EL PROPUESTO	37
5. CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema de aspersión (Sprayballs). PSD Ingeniería	14
Figura 2. Sistema de aspersión en tanques	16
Figura 3. Procedimiento de limpieza y desinfección	19
Figura 4. Planta de procesamiento de Yogurt de la empresa Freskaleche	21
Figura 5. Diseño del sistema de limpieza para el pasteurizador	24
Figura 6. Diseño del sistema de limpieza para el tanque 0	25
Figura 7. Diseño del sistema de limpieza para el tanque 1	26
Figura 8. Diseño del sistema de limpieza para el tanque 2	27
Figura 9. Diseño del sistema de limpieza para los tanques de saborización.	28

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipo de suciedades en la industria alimenticia	12
Tabla 2. Capacidades de los equipos	19
Tabla 3. Volúmenes para cada uno de los circuitos de lavado	29
Tabla 4. Número de Reynolds y factor de fricción	31
Tabla 5. Coeficientes de resistencia	32
Tabla 6. Pérdidas energéticas en los diferentes circuitos de lavado	33
Tabla 7. Costos de insumos y equipos necesarios para el sistema CIP empresa Freskaleche S.A.	36
Tabla 8. Costo mensual de sustancias de lavado actualmente	37
Tabla 9. Costo mensual de sustancias de lavado con el sistema propuesto	38

LISTA DE ABREVIATURAS

NaOH	Hidróxido de Sodio (Soda cáustica)
H₃PO₄	Ácido Fosfórico
CH₃-COOOH	Ácido Peracético
H₂O	Agua
Kg	Kilogramo
L	Litro
CIP	Clean in place
Un	Unidad
h	hora
m	metro
s	segundo
Pa	Pascal
Re	Número de Reynolds

RESUMEN

TITULO:

ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA DE LA LINEA DE YOGURT EN LA PLANTA DE DERIVADOS DE LA EMPRESA FRESKALECHE S.A*

AUTOR:

CHACÓN RANGEL, Silvia Juliana **

PALABRAS CLAVE:

CIP, Limpieza, Higienización, Desinfección

DESCRIPCIÓN:

Para las industrias productoras de alimentos es requisito esencial mantener la limpieza constante de equipos e instalaciones, de manera a asegurar la inocuidad de sus productos. Para alcanzar este objetivo se hace necesario seguir un procedimiento de limpieza, enjuague y desinfección de la forma más rigurosa posible.

El presente trabajo se enmarca en una propuesta de mejora al sistema de limpieza actual de la línea de yogurt de la empresa Freskaleche S.A., con el fin de que este sea automático e independiente, y permita además reducir el gasto de los consumibles (agua, solución alcalina y solución ácida) utilizados en el proceso de limpieza tipo CIP y de ahí reducir costos.

En primer lugar se realiza un análisis del estado actual del sistema de limpieza, encontrándose falencias, ya que este no independiza cada sección de lavado, acelera el desgaste del pasteurizador, genera mayor impacto ambiental y costo por desperdicio de soluciones de limpieza, además de ser un constante riesgo para la salud de los trabajadores. Es por esto que se procede a plantear un diseño que permita la implementación de un sistema de limpieza tipo CIP (Clean in Place) en la planta de procesamiento de yogurt, es decir, se diseña la tubería, accesorios, tanques de almacenamiento y demás equipos que se requieren para poner en funcionamiento este sistema de limpieza. Una vez obtenido este diseño, se hallan las características de los equipos de acuerdo con los datos de longitud de tubería y pérdidas por fricción. Con las características de los equipos necesarios se evalúan los costos involucrados en la implementación de dicho sistema y los ahorros que podrían darse a futuro, dando como resultado que la inversión de \$62'307.500 , se recupera fácilmente en menos de 1 año, ya que el ahorro mensual es de aproximadamente \$8'300.000

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ing. Química. Director. Carlos Jesus Muvdi Nova. Codirector. Yesid Hernández Vásquez. Universidad Industrial de Santander

ABSTRACT

TITLE:

STUDY FOR THE IMPROVEMENT OF THE CLEANING SYSTEM IN THE YOGURTH LINE IN FRESKALECHE S.A. PLANT^{*}

AUTHOR:

CHACÓN RANGEL, Silvia Juliana ^{***}

KEY WORDS:

CIP, Cleaning, Sanitation, Disinfection

DESCRIPTION:

For food-producing industries is a prerequisite to maintain the constant cleaning of equipment and facilities, to ensure the safety of their products. To achieve this goal it is necessary to follow a procedure for cleaning, rinsing and disinfection in the most rigorous way possible.

This work is part of an improvement proposal to the current cleaning system of yogurt line in Freskaleche S.A Company, in order to make this more automatic and independent, and thus, reduce the cost of consumables (water, alkaline solution and acid solution) used in the CIP cleaning process and hence reduce costs.

In first place an analysis of the current state of the cleaning system is made, finding failures since it does not frees each washing section, hastens the wear of the pasteurizer, generates more environmental impact and cost by cleaning solutions waste, as well as being a constant risk to the workers health. That is why a design that enables the implementation of a cleaning system such CIP (Clean in Place) in yogurt processing plant is proposed, i.e. designing the pipes, fittings, storage tanks and other equipment required to operate the cleaning system. Once obtained this design the characteristics of the equipment are found according to pipe length and friction losses data. With the characteristics of the equipment needed the costs involved in implementing the system and the savings that could occur in the future are evaluated, obtaining that the investment of \$62'307.500 , is easily recovered in less than a year, given that the monthly savings are \$8'300.000

* Work Degree

** Faculty of Engineering Physicochemica. School of Chemical Engineering. Director. Carlos Jesus Muvdi Nova. Codirector. Yesid Hernández Vásquez. Universidad Industrial de Santander

INTRODUCCIÓN

Freskaleche S.A. es una empresa dedicada a la producción de leche tratada en diversas presentaciones y de una variedad productos lácteos, tales como Yogurt, Kumis, Queso, Arequipe, Mantequilla, entre otros. Siendo una empresa del sector alimenticio, debe asegurar la calidad de los productos que ofrece, mediante procesos de elaboración que cumplan con condiciones higiénicas. Para lograr estas condiciones se hace necesario una buena limpieza y desinfección de tuberías y equipos de proceso.

Esta limpieza se fundamenta en la eliminación de la suciedad, (carga orgánica y iónica) que pueda quedar después del paso del producto. Por el otro lado la desinfección se refiere al tratamiento químico, aplicado con el fin de eliminar y asegurar la ausencia de microorganismos patógenos. Al aplicar estas dos etapas correctamente, se logran las condiciones higiénicas deseadas.

Este trabajo busca el mejoramiento del sistema de limpieza de la línea de Yogurt, por medio de un diseño que permita que esta se haga de manera automática, a través de la implementación de una central para CIP (Clean in Place) o Sistema de limpieza *in situ*.

El diseño que se propone, contempla limpieza para tubería, equipos, tanques de almacenamiento y demás accesorios propios de este tipo de sistema de saneamiento. Estos equipos y tanques de almacenamiento se obtienen como resultado del análisis de las pérdidas en tubería, volumen de los circuitos a limpiar y otros aspectos a considerar en este proyecto.

Una vez terminado el diseño se analizan los costos que serían necesarios para llevar a cabo la implementación y los posibles ahorros que supondrían alcanzar a futuro con ésta propuesta.

1. INDUSTRIA LÁCTEA

1.1 GENERALIDADES

La industria láctea es una rama de la industria alimenticia, que se dedica al procesamiento de leche cruda obtenida principalmente de las vacas. Esta leche se puede someter a procesos de pasteurización y ultrapasteurización para vender como leche tratada de alta calidad, o se puede usar la leche pasteurizada para producir leches ácidas fermentadas, como lo es el yogurt. De la leche cruda también se pueden obtener grasas, cremas y mantequilla, que a su vez se pueden usar para producir leche azucarada, helados y postres. También los quesos y la leche en polvo son otros derivados importantes de la leche [1].

1.2 LA LIMPIEZA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA

En la industria lechera, así como en cualquier industria de alimentos, se busca que los productos que se fabrican, sean de calidad y seguros (inocuos). Para lograr esto, no solo es necesario contar con materias primas de calidad y sistemas de procesamiento eficientes, sino que también es muy importante contar con una adecuada limpieza de equipos e instalaciones. Esta limpieza se debe realizar con el fin de remover diferentes tipos de suciedades como los que se muestran en la Tabla 1 que son los más comunes en los procesos de la industria alimenticia [2].

Tabla 1. Tipo de suciedades en la industria alimenticia

Componente	Solubilidad	Remoción	Alteraciones con el calor
Azúcar	Agua: soluble	Fácil	Caramelización
Grasa	Agua: insoluble C. Alcalinos: pobre C. Ácidos: pobre	Difícil	Polimerización
Proteína	Agua: pobre C. Alcalinos: buena C. Ácidos: media	Difícil	Desnaturalización
Sales minerales monovalentes	Agua: soluble C. Ácidos: soluble	Fácil	
Sales minerales polivalentes	Agua: insoluble C. Ácidos: soluble	Difícil	Precipitación

Particularmente en la industria láctea, la limpieza es muy difícil, ya que la suciedad se debe a la suma de lípidos, glúcidos, proteínas, posos minerales y microorganismos [3], por lo cual su efectividad se logra por medio de procesos de limpieza y desinfección mecanizados y automatizados.

Hay varios grados de limpieza que se deben alcanzar idealmente: la limpieza física que elimina las impurezas visibles, la limpieza química que elimina las impurezas no visibles y los olores, y la limpieza microbiológica que destruye los microorganismos patógenos. Para esto las soluciones de limpieza deben tener una serie de propiedades muy diversas, como capacidad de remover partículas orgánicas e incrustaciones formadas por sales y mantenerlas en disolución para que no se vuelvan a depositar, poder penetrante, emulsificante y dispersante para poder entrar en las impurezas, romperlas y mantenerlas en suspensión. Además estas soluciones deben ser fáciles de eliminar con un enjuague sencillo y no deben ser corrosivas [4]. Todas estas propiedades son difíciles de encontrar en una misma sustancia, por lo cual se pueden mezclar varios tipos de sustancias, sin embargo, la soda cáustica (hidróxido de sodio) reúne muchas de las propiedades mencionadas y su precio es menor en comparación con otros productos. Los limpiadores ácidos aunque no son tan usados como los alcalinos, son muy útiles al momento de eliminar residuos inorgánicos y retirar carga iónica. Algunos de los ácidos más usados son el ácido muriático, fosfórico, sulfúrico y nítrico [5].

1.3 SISTEMA DE LIMPIEZA CIP (*Clean in place*)

1.3.1 Aspectos básicos. El sistema de limpieza CIP (*Clean in place*) o limpieza *in situ*, es un sistema que permite facilitar las operaciones de limpieza, ya que permite la automatización del proceso y no requiere desmontar los equipos. Consiste en hacer circular por las tuberías, equipos, tanques y demás instalaciones, las soluciones de limpieza y desinfección. Este sistema tiene como

grandes ventajas, el ofrecer procesos repetitivos que ahorran energía, agua y sustancias químicas, además de reducir las labores manuales; reduciendo los riesgos asociados al manejo de sustancias químicas.

Para la operación de este sistema se deben tener en cuenta cuatro variables importantes: temperatura, tiempo, turbulencia y concentración de las sustancias. En primer lugar la temperatura de las soluciones de limpieza de un CIP es vital para su efectividad, y se determina de acuerdo con los requerimientos del proceso y los químicos utilizados en las soluciones de limpieza. La turbulencia es necesaria para asegurar un correcto lavado al interior de tuberías y accesorios; igualmente permite un funcionamiento eficaz de los dispositivos encargados de la limpieza de los tanques, conocidos como sprayballs (Figura 1). Por otro lado la concentración de las sustancias es una medida que debe ser determinada experimentalmente o recomendada por el proveedor para que no se desperdicie material ni resulte incompleto el proceso de limpieza. Por último el tiempo de lavado, el cual depende de diversos factores como disponibilidad de la línea, concentración de las sustancias, cantidad y tipo de suciedades, entre otros [6].

Figura 1. Sistema de aspersión (Sprayballs). PSD Ingeniería



1.3.2 Reglas para un diseño higiénico. Cuando se desea que el sistema de limpieza sea lo más higiénico posible, hay ciertas reglas que se deben tener en cuenta al momento de diseñarlo. La primera de estas reglas considera evitar la acumulación de producto en los tramos del circuito a limpiar. Esto puede ser logrado minimizando tubería, codos, tramos de tubería curva, superficies

horizontales de equipos y puntos muertos o cavidades donde el producto pueda depositarse [7]. Es también importante que las soluciones de limpieza que van a circular por las tuberías y equipos, tengan la suficiente velocidad para generar la turbulencia necesaria para remover los diferentes tipos de suciedades. En cuanto a las superficies, deben estar perfectamente pulidas y ser preferiblemente de aceros inoxidables con bajo contenido de carbono, evitando recubrimientos, depósitos metálicos, electrodepositados y otros tratamientos que en caso de fisura podrían causar contaminación [14].

1.3.3 Conceptos de diseño. Un sistema de limpieza tipo CIP consta de ciertos elementos principales:

- Tanques de almacenamiento para las soluciones de limpieza.
- Bombas para asegurar circulación de las soluciones en el sistema.
- Sistema de tuberías.

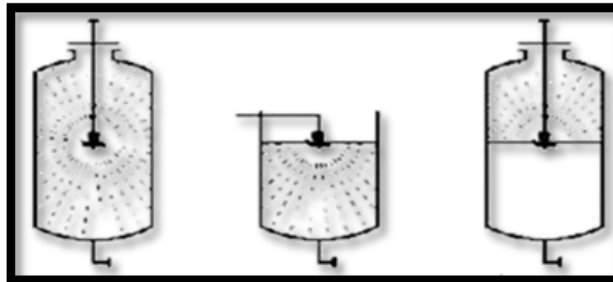
Para cada uno de estos elementos hay ciertos aspectos especiales que se deben tener en cuenta en su diseño. Para los tanques de almacenamiento de las soluciones, se debe definir el volumen de estos de acuerdo con el circuito de mayor volumen a limpiar o con la mayor cantidad de circuitos de limpieza a efectuar (aplicando un factor de sobredimensionamiento). Se recomienda que estos tanques sean de acero inoxidable y en caso de que las soluciones requieran temperatura, deben ser enchaquetados.

La tubería con sus respectivos accesorios, como se trata de una industria de alimentos, deben ser de tipo sanitario para evitar riesgos en la calidad e inocuidad de los productos (de acuerdo con el decreto 3075 de 1997 del ministerio de salud). El material comúnmente usado para este fin es el acero inoxidable, que reúne: resistencia mecánica, terminación sanitaria y resistencia a agentes ambientales y de limpieza.

Las bombas utilizadas en el sistema deben cumplir con tres características importantes. La primera es la capacidad de flujo de la bomba que asegure un régimen de flujo turbulento ($Re \geq 3000$) y la limpieza sea efectiva. La segunda característica es la cabeza de la bomba, la cual está relacionada con la altura de la tubería, las pérdidas por fricción, la temperatura y la presión de la solución bombeada. Por último se encuentra la cabeza de succión o NPSH, que es la capacidad de succión en la entrada a la bomba, la cual es de vital importancia para prevenir la cavitación; ella depende de la temperatura, la presión y la elevación del nivel del fluido. Adicionalmente para el sistema de retorno, se debe usar una bomba centrífuga “autocebante” [8].

Por último, otro de los elementos principales de un CIP, son los *sprayballs* (ver Figura 1, pag.12), que son dispositivos dispersores para el lavado de los tanques que permiten alcanzar la totalidad de superficie a limpiar. Estos se escogen dependiendo del tamaño, la forma y los accesorios del tanque (ver Figura 2).

Figura 2. Sistema de aspersión en tanques



1.4 VERIFICACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA LIMPIEZA.

Una vez terminado el proceso de limpieza, es necesario verificar que este se haya efectuado correctamente; para que en caso contrario se puedan efectuar acciones correctivas y la calidad del producto no se vea afectada. La luminometría es una técnica ampliamente usada en la actualidad para este fin. Ella evalúa de forma

rápida el estado de limpieza de las superficies, indicando la presencia de microorganismos y/o material orgánico, por medio de la concentración de ATP (adenosín trifosfato) en superficies en contacto con los productos [2].

2. DESCRIPCIÓN DE PROTOCOLOS Y PROCESOS

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE YOGURT

La planta de procesamiento de yogurt se puede observar en la Figura 4 y consta de los siguientes elementos:

- Un tanque de mezcla (TQ mezcla) donde se recibe la leche pasteurizada proveniente de la planta de leche, que se mezcla con el azúcar, la leche en polvo y otros ingredientes.
- Un pasteurizador y un homogenizador por los cuales se hace pasar esta mezcla.
- Tres tanques fermentadores (tanque 0, 1, 2) que reciben la mezcla una vez pasteurizada y homogenizada y en donde se añaden los cultivos para que se lleve a cabo el proceso de fermentación (que dura aproximadamente cuatro horas y media). Al terminarse este proceso, el yogurt base obtenido puede dejarse en el mismo tanque para añadirle colores y sabores si es necesario. Para los tanques 0 y 2, los cuales poseen un sistema de enfriamiento directo, es posible realizar el empaqueo del yogurt directamente.
- Siete tanques de saborización (tanques 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) que reciben el yogurt base obtenido del tanque fermentador 1, después de haber pasado a través de un intercambiador para su enfriamiento. En estos tanques se añade el color y sabor; para enviarse posteriormente a empaque.

En la Tabla 2 se pueden observar datos adicionales respecto a las capacidades de los equipos.

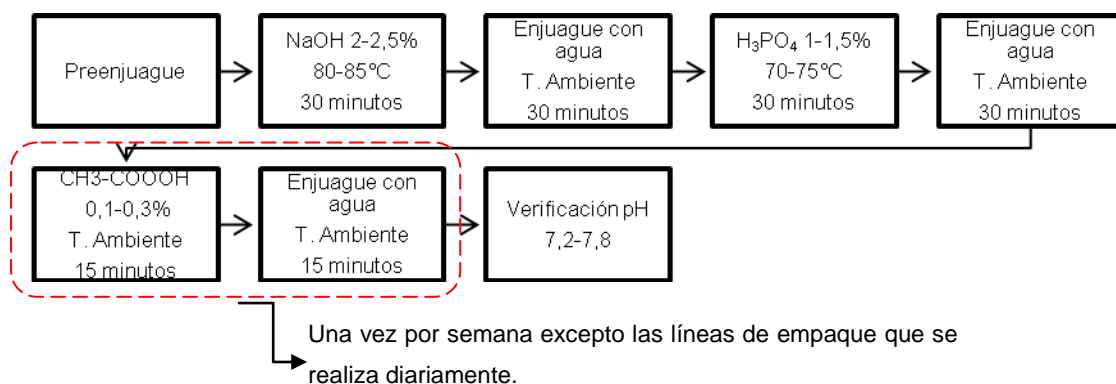
Tabla 2. Capacidades de los equipos

Equipo	Capacidad [L]	Equipo	Capacidad [L]
Pasteurizador	500	Tanque fermentador 1	4000
Tanque fermentador 0	3000	Tanques de saborización	1280
Tanque fermentador 1	5300	Intercambiador	130

2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN ACTUAL

Actualmente para la línea de yogurt, el sistema de limpieza de equipos, tanques, maquinas de envasado y líneas de proceso se hace por medio de un lavado con soda tipo CIP desde el pasteurizador (que limpia y desincrusta la materia orgánica, residuos de leche, calcio y grasa), seguido de un lavado con ácido fosfórico que retira la carga iónica. Estos 2 compuestos en conjunto reducen el riesgo de contaminación microbiana. El procedimiento general se resume en la Figura 3.

Figura 3. Procedimiento de limpieza y desinfección

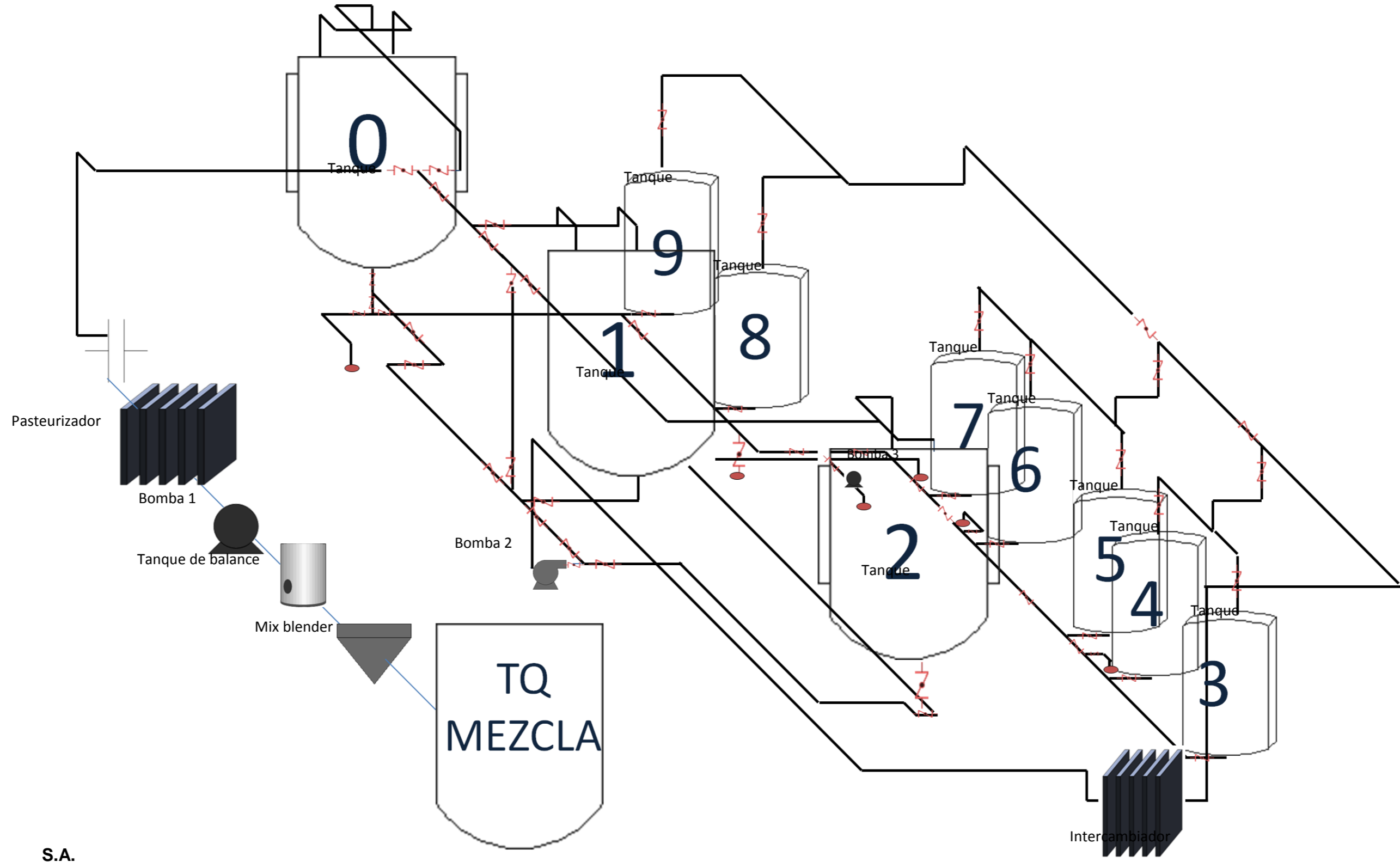


La limpieza inicia con un preenjuague de la sección a limpiar, después del cual se introduce al sistema soda al 2% por medio del tanque de balance del pasteurizador, la cual se empieza a recircular por el pasteurizador hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 85°C.

Alcanzada esta temperatura, la solución es enviada a los tanques, por un periodo de 30 minutos, después del cual hace un enjuague con agua que dura aproximadamente 30 minutos.

El mismo procedimiento se realiza con ácido fosfórico al 1% a una temperatura entre 70 y 75°C.

Figura 4. Planta de procesamiento de Yogurt de la empresa Freskaleche



S.A.

Los tanques de fermentación y saborización necesitan lavarse cada vez que se desocupan incluso si no se van a usar inmediatamente, para evitar crecimiento microbiano, contaminación, malos olores e incrustaciones; por lo cual en total se deben hacer aproximadamente 6 lavados al día.

Es importante mencionar que cada uno de estos lavados se debe hacer por medio del pasteurizador, lo que implica que de las aproximadamente 14 horas del día que se pone en funcionamiento el pasteurizador, 10 horas (el 71,5%) corresponden a lavados. Esto genera disminución de la producción (durante ese tiempo no se puede pasteurizar leche), y disminuye el tiempo de vida del pasteurizador (empaques y placas del intercambiador) debido a los continuos lavados con soda y ácido. También hay un mayor impacto ambiental y de costo por consumo de agua y de reactivos que deben ser desechados después de cada lavado.

Adicionalmente, cuando se hace el lavado de las líneas de producto hacia las máquinas envasadoras, suele presentarse cruce de estas actividades con operaciones ejecutadas en esta área en presencia de personal de la planta generando con esto un riesgo para la salud de los trabajadores.

2.3 PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

Para mejorar el sistema de limpieza y desinfección actual, se propone implementar una central de CIP, de modo que el lavado no se realice siempre por medio del pasteurizador, sino que se pueda hacer individualmente para cada sección del proceso cuando la operación lo requiera.

Esta propuesta de implementación considera el diseño del sistema de conducción (tubería y accesorios) necesarios para transportar las soluciones de limpieza desde los tanques de almacenamiento, al igual que el volumen de estos y las especificaciones de las bombas tanto de alimentación como de retorno. La

escogencia del tipo y número de accesorios, como también la longitud de tubería requerida, tuvo como criterio la distribución espacial de los equipos del proceso que hacen parte de este estudio (sobre un área de 450 m² repartidos en dos niveles). Los diseños para cada circuito de lavado se ilustran en las Figuras 5, 6, 7,8 y 9.

2.4 CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

El dimensionamiento en bombas y capacidad de almacenamiento para las soluciones de lavado tipo CIP, demanda efectuar cálculos que permitirán establecer tanto los volúmenes empleados durante el saneamiento como los de reserva (con esto se garantizará capacidad de operación al momento de hacer uso de éstas). Por otra parte se busca establecer las pérdidas dadas en tubería, generadas por el diseño de la línea; esto con el objeto de cuantificar la capacidad de la bomba de alimentación y la de retorno.

El volumen de tubería se calcula a partir de la longitud total y del diámetro de esta [9]. La longitud total corresponde a la suma de las longitudes de cada uno de los tramos de tubería que conforman las diferentes secciones. Respecto al área transversal esta se calcula a partir del mayor diámetro (interno) de tubería a utilizar en el sistema de limpieza (2,1 in), de la siguiente manera:

$$A_t = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0,0525 \text{ m})^2}{4} = 2,16 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Para la sección de proceso, denominada pasteurizador (ver Figura 5), se obtuvo una longitud total de tubería de 47,7 metros, de modo que el volumen por tubería es:

$$V = (2,16 * 10^{-3} \text{ m}^2) * (47,7 \text{ m}) = 0,1033 \text{ m}^3 = 103,3 \text{ L}$$

Figura 5. Diseño del sistema de limpieza para el pasteurizador

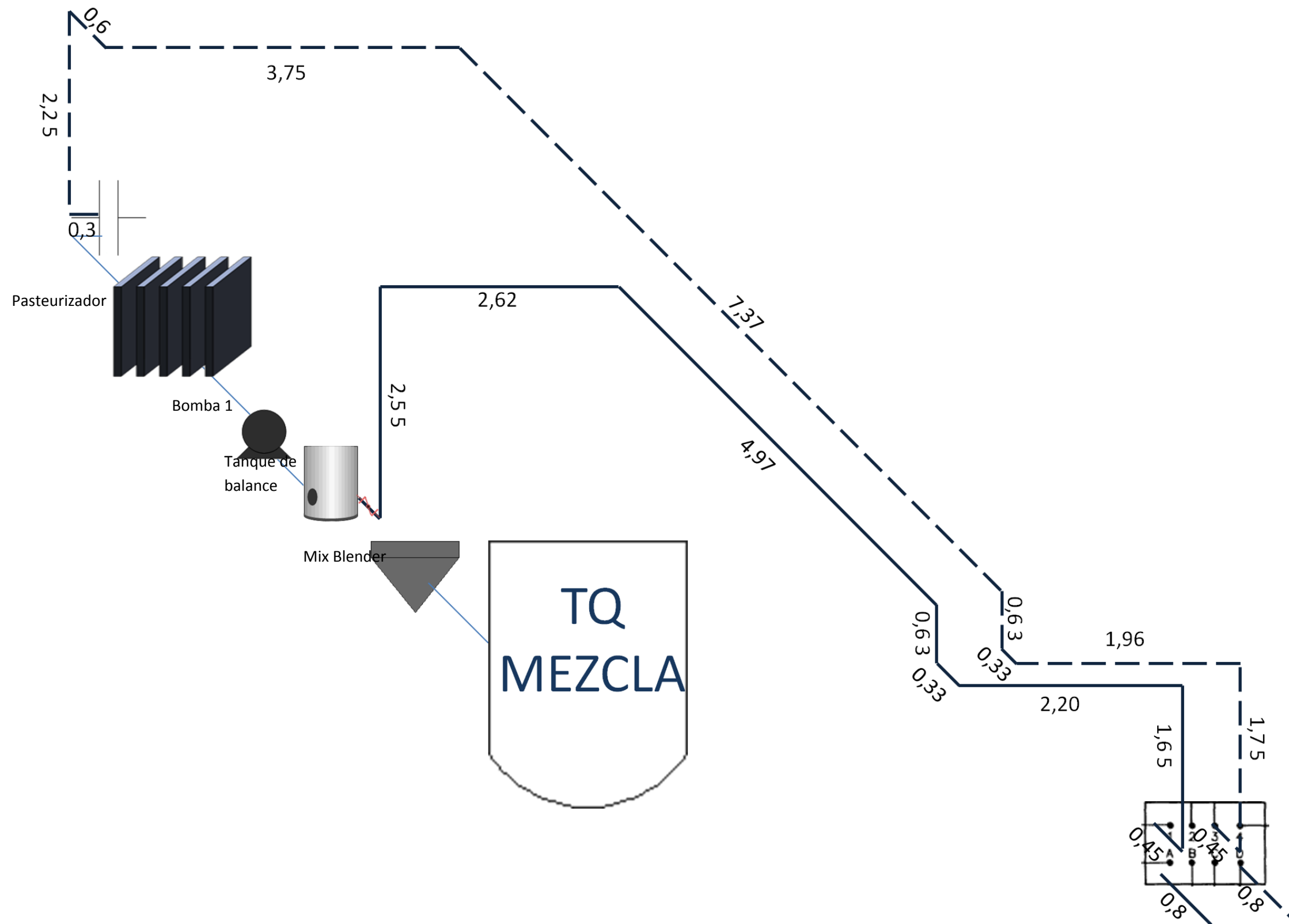


Figura 6. Diseño del sistema de limpieza para el tanque 0

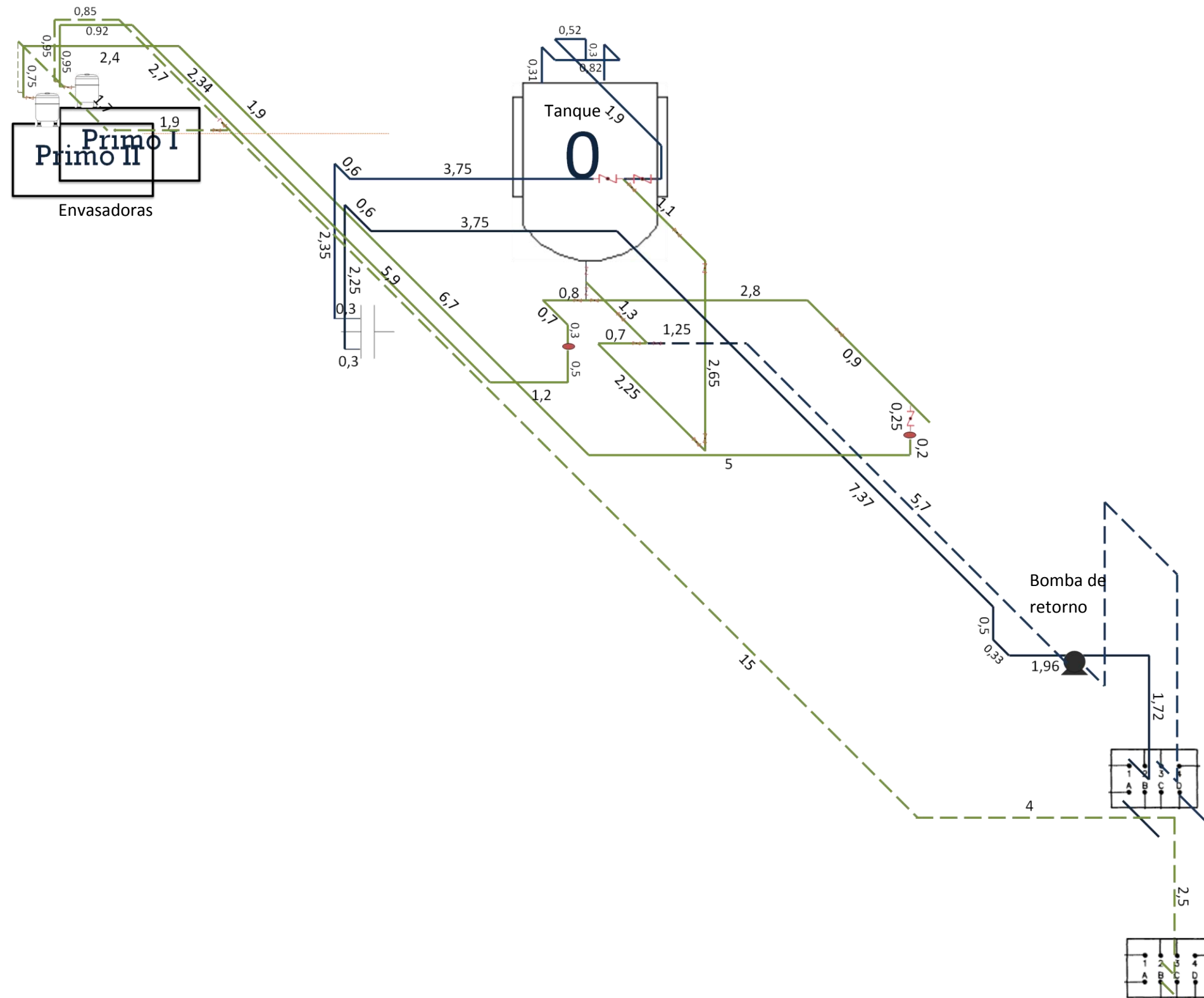


Figura 7. Diseño del sistema de limpieza para el tanque 1

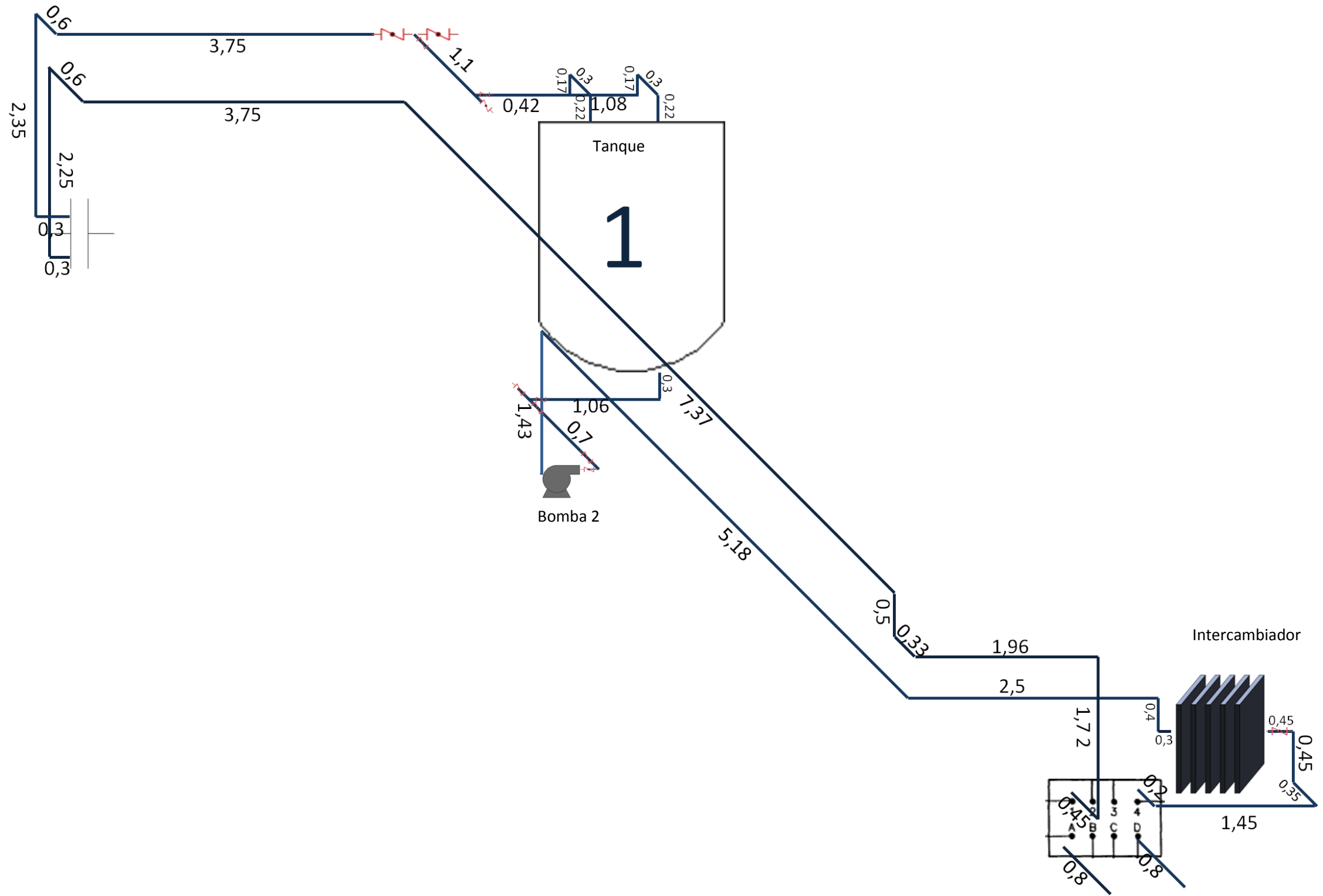
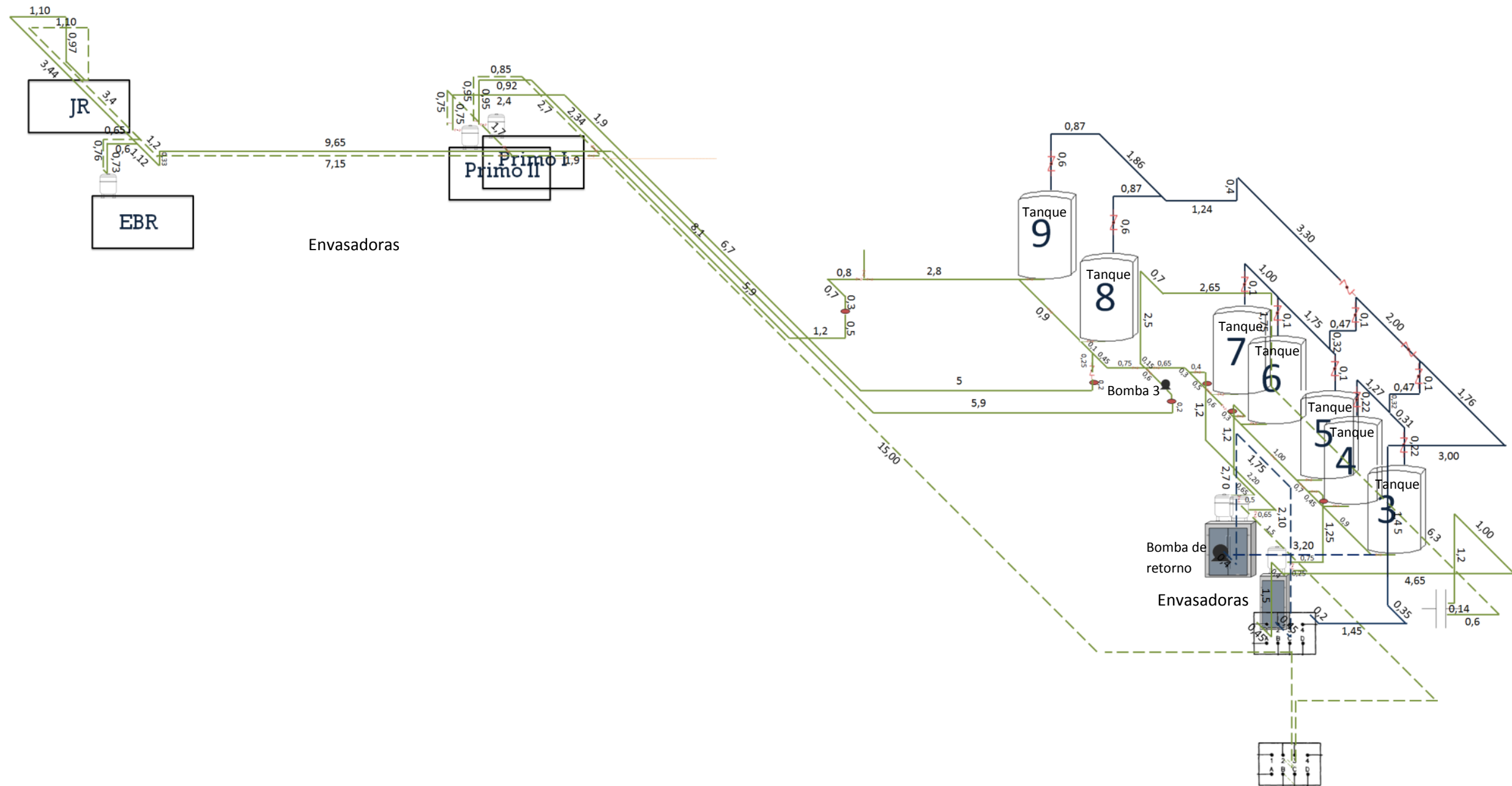


Figura 9. Diseño del sistema de limpieza para los tanques de saborización.



A este volumen de tubería, se le debe adicionar el volumen del pasteurizador, es decir 500 L, de modo que el volumen total que ocupa esta sección es de aproximadamente 605 L.

Este procedimiento se realiza para cada uno de los circuitos a lavar. Es importante mencionar que en los cálculos se debe considerar igualmente un volumen adicional que corresponde al 30% del volumen del tanque, esto por cada tanque del circuito de lavado.

Los resultados obtenidos para todas las secciones, se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Volúmenes para cada uno de los circuitos de lavado

Circuito de lavado	Longitud total tubería [m]	Volumen tubería [L]	Volumen adicional [L]	Volumen total aproximado [L]
Pasteurizador	47,70	103,26	500	604
Tanque 0	59,90	129,67	900	1030
Líneas Tanque 0	106,44	230,41	----	231
Tanque 1	57,18	123,78	1720	1845
Tanque 2	54,91	118,86	1200	1320
Líneas Tanque 2	63,73	137,96	----	138
Tanques saborización	60,10	130,10	2688	2820
Líneas Tanques saborización	171,37	370,96	----	371

Añadiendo un margen de seguridad del 25% al mayor volumen, se obtiene que los tanques de almacenamiento serán dimensionados para tener una capacidad de aproximadamente 3600 L cada uno (2,2 m de altura por 1,5 metros diámetro).

Las pérdidas por altura, tubería y accesorios entre un punto inicial y uno final, determinan la carga total de la bomba, por medio de la ecuación de Bernoulli:

$$H = z_2 - z_1 + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

Donde,

z = altura del fluido; v = velocidad de flujo del fluido; g = gravedad; P = presión; ρ = densidad del fluido; h_L = pérdidas energéticas

Puesto que nos encontramos en presencia de un sistema que se considera completamente lleno de un fluido incompresible (solución de lavado), las velocidades entre los puntos 1 y 2 se asumen iguales, anulándose. Las presiones entre estos puntos también se asumen iguales, debido a que ningún punto del sistema se encuentra presurizado, y no se considera la presión que ejerce la altura del fluido a la salida del tanque de almacenamiento. La ecuación se resume como sigue:

$$H = z_2 - z_1 + h_L$$

Respecto a las pérdidas de energía por fricción en tubería, estas se pueden hallar por medio de la ecuación de Darcy:

$$h_L = \frac{fLv^2}{2Dg}$$

Donde,

f = factor de fricción; L = longitud de la tubería; v = velocidad de flujo del fluido; D = diámetro de la tubería; g = gravedad

El factor de fricción de la ecuación de Darcy depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería, ϵ/D . Para régimen turbulento (necesario para que el proceso de limpieza sea efectivo), la estimación del factor de fricción se puede hacer tanto por métodos gráficos [10], como por correlaciones, como la ecuación de Colebrook y White [11,12] que es válida para valores de Re entre 4000 y 10^8 , y de rugosidad relativa entre 0 y 0,05. La rugosidad relativa para el acero inoxidable es 0,0009 [9] y el número de Reynolds se halla de la siguiente manera:

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

Los cálculos se realizan para dos diámetros de tubería (2 in y 1 ½ in) debido a que hay secciones donde el diámetro cambia, a una velocidad de alimentación de 2,1 m/s (velocidad recomendada para una limpieza efectiva [8]), una temperatura de alimentación de 20°C, ya que las variaciones que presentan las otras soluciones

de limpieza son poco significativas [13]. Las propiedades del agua a esta temperatura son:

$$\rho = 998,2 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\mu = 1,002 * 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

Una vez obtenidos los números de Reynolds, se pueden determinar los factores de fricción, por medio de la ecuación de Colebrook y White, ya que cumple los rangos para los cuales esta es válida:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{2,52}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Los resultados obtenidos, se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Número de Reynolds y factor de fricción

Diámetro nominal [pulg]	Diámetro interno [m]	Re	f
2'	0,0525	109832	0,0216
1 ½'	0,0409	85564	0,0222

Por otro lado, las pérdidas por accesorios, se pueden determinar mediante coeficientes de resistencia (K), propios de cada uno de estos, que en la ecuación de Darcy, tendrían la siguiente forma:

$$h_L = K \frac{v^2}{2g}$$

Los coeficientes para una gran variedad de accesorios se encuentran reportados en la literatura [9]. Los accesorios que hacen parte de la presente propuesta se encuentran resumidos en la Tabla 5.

Tabla 5. Coeficientes de resistencia

Accesorios	Codos 90°	Válvulas de mariposa	"T" Flujo directo	"T" Flujo desviado a 90°	Curvas de 180°
Coeficientes de resistencia (K)	30*f	45*f	20*f	60*f	50*f

Con la longitud de la tubería, los accesorios, y la diferencia de altura se puede calcular la carga total de la bomba para cada uno de los circuitos de limpieza.

Para el caso del circuito denominado pasteurizador (de la bomba de alimentación hasta el tanque de balance), se tiene una longitud de tubería (de 2 pulgadas) de 21,8 m, una diferencia de altura de 5,33 m y 10 codos, 1 válvula y 1 curva 180°, Entonces,

$$H = \Delta z + h_L$$

Donde,

$$h_L = \frac{(0,0216)(21,8m)(2,1 \text{ m/s})^2}{2(0,0525m)(9,8 \text{ m/s}^2)} + 10 * \left((30 * 0,0216) \frac{(2,1 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right) + \left((45 * 0,0216) \frac{(2,1 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right) + \left((50 * 0,0216) \frac{(2,1 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_L = 3,94 \text{ m}$$

Y por lo tanto: $H = (5,33 \text{ m} + 3,94 \text{ m}) = 9,27 \text{ m}$

Esta carga de la bomba se puede expresar en J/Kg, multiplicando el resultado obtenido por la gravedad, obteniéndose entonces un resultado de:

$$H = 90,88 \text{ J/Kg}$$

La metodología de cálculo para cada uno de los circuitos de lavado es similar a la presentada anteriormente. Los resultados obtenidos se encuentran resumidos en la Tabla 6.

Tabla 6. Pérdidas energéticas en los diferentes circuitos de lavado

		Circuitos de lavado							
		Pasteurizador	Tanque 0	Líneas Tanque 0	Tanque 1	Tanque 2	Línea Tanque 2	Tanques saborización	Líneas Tanques saborización
Longitud tubería [m]	2'	21,80	35,35	106,44	33,73	33,93	63,73	18,20	122,70
	1 ½'	----	2,40	----	2,88	6,55	----	15,45	----
Codos	2'	10	18	34	14	14	24	11	49
	1 ½'	----	4	----	5	5	----	10	----
Válvulas	2'	1	2	18	3	4	10	4	20
	1 ½'	----	----	----	----	----	----	7	----
"T" Flujo directo	2'	----	1	1	----	2	2	3	10
	1 ½'	----	----	----	1	----	----	2	----
"T" Flujo desviado a 90°	2'	----	----	10	2	1	6	2	15
	1 ½'	----	2	----	1	2	----	6	----
Curvas de 180°	2'	1	2	3	2	2	4	1	4
Δz		5,33	7,61	1,52	7,82	7,32	2,42	4,32	-4,05
hL [m]		3,94	8,35	22,52	8,32	9,01	14,52	11,83	29,24
H [J/Kg]		90,88	156,45	235,63	158,19	160,04	166,05	158,24	246,85

Con la mayor carga total de la bomba, que corresponde a la sección de las líneas de los tanques de saborización, se puede hallar la potencia de la bomba, por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q * H * \rho}{\eta}$$

Donde,

Q = Caudal; H = Carga total de la bomba; ρ = Densidad; η = Eficiencia de la bomba

El caudal se determina tomando en cuenta que la velocidad de flujo es 2,1m/s, de la siguiente manera:

$$Q = A_T * v = (2,16 * 10^{-3} \text{ m}^2) * (2,1 \text{ m/s}) = 4,55 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 16,37 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se asume una la eficiencia para la bomba de 60%; esto considerando cualquier variación debida a diferencias de temperatura o tipo de solución (los cálculos se realizaron considerando el bombeo de agua a 20°C) [13].

Se encuentra entonces que la potencia de la bomba es:

$$P = \frac{\left(16,37 \text{ m}^3/h\right) * \left(246,85 \text{ J/Kg}\right) * \left(998,2 \text{ Kg/m}^3\right) * \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{0,6} = 1870 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$= 1,87 \text{ kW}$

$$P = 2,5 \text{ hp}$$

3. EVALUACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

La lista suministrada a continuación relaciona los elementos necesarios para implementar la central de CIP en la empresa Freskaleche S.A.:

- Bomba centrífuga HYGINOX SN20C para alimentación de las soluciones de INOXPA con capacidad de 20.000 L/h y potencia de 3 hp.
- Bomba centrífuga LKHSP-25 autocebante para el retorno de Alfa Laval con capacidad de de 25.000 L/h y potencia de 4kW
- Tanque de almacenamiento de agua recuperada de 3600 litros en acero inoxidable
- Tanque de almacenamiento de Soda de 3600 L en acero inoxidable
- Tanque de almacenamiento de Ácido de 3600 L en acero inoxidable
- 140,2 metros de tubería sanitaria de 2'
- 66 codos sanitarios 2'
- 16 válvulas sanitarias 2'
- 10 Tees sanitarias 2'

Los costos de estos insumos y equipos se encuentran resumidos en la Tabla 7; ellos incluyen costos de instalación.

Tabla 7. Costos de insumos y equipos necesarios para el sistema CIP empresa Freskaleche S.A.

Elemento	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Bomba alimentación	1 unidad	\$6'000.000	\$6'000.000
Bomba retorno	1 unidad	\$30'000.000	\$30'000.000
Tanque almacenamiento agua	1 unidad	\$4'600.000	\$4'600.000
Tanque almacenamiento soda	1 unidad	\$7'650.000	\$7'650.000
Tanque almacenamiento ácido	1 unidad	\$7'650.000	\$7'650.000
Tubería sanitaria 2'	141 metros	\$ 27.500	\$3'877.500
Codos sanitarios 2'	66 unidades	\$ 27.500	\$1'815.000
Válvulas sanitarias 2'	16 unidades	\$ 27.500	\$ 440.000
Tees sanitarias 2'	10 unidades	\$ 27.500	\$ 275.000
		Total	\$62'307.500

4. COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA ACTUAL Y EL PROPUESTO

En esta sección se evalúan las diferencias entre el sistema de lavado actual y el propuesto con el fin de encontrar las ventajas ofrecidas cuando el lavado se hace mediante una central de CIP.

La primera de las diferencias entre estos dos sistemas, se encuentra en el volumen de solución necesaria para cada lavado. Con el sistema actual de limpieza, al día se hacen aproximadamente 6 lavados (de lunes a sábado) y dos lavados (el día domingo); mensualmente esto equivale a un total aproximado de 152 lavados. Sin el sistema de retorno de las soluciones de limpieza, estas se deben desechar completamente tras cada uno de los lavados, generando un gasto constante de sustancias químicas y agua; sin contar con el impacto ambiental generado. Estos gastos mensuales se ilustran mejor en la Tabla 8.

Tabla 8. Costo mensual de sustancias de lavado actualmente

	Unidad	Cantidad por lavado	Valor unitario	Costo por lavado	Costo mensual
NaOH	Kg	10	\$ 1.680	\$ 16.800	\$ 2'553.600
H₃PO₄	L	10	\$ 3.904	\$ 39.040	\$ 5'934.080
H₂O	L	8000	\$ 1,907	\$ 15.256	\$ 2'318.912
				Total	\$ 10'806.592

Con el sistema que se propone, se estima que la cantidad de solución requerida (con base al funcionamiento de la central de CIP instalada actualmente para el lavado de los tanques de la planta de leche de la empresa Freskaleche S.A.), corresponde a:

- Un 5% del volumen total del tanque, diario, que corresponde al ajuste de la concentración. La cual varía en el tiempo debido a los lavados previamente realizados. Dado que el volumen total de los tanques es de 3600 L cada uno, diariamente se pierden 180 L de solución, tanto de soda como de ácido por ajuste de concentración.

- Un 2% del volumen total del tanque (es decir 72L), por cada lavado, que corresponde al volumen no recuperado de solución durante los primeros minutos de lavado. Esto se debe a que dicho volumen lleva consigo la mayor parte de la suciedad presente en el circuito, la cual debe ser desechada.
- 3600L por cada tanque de almacenamiento (soda, ácido y agua de lavado) que deberán ser totalmente reemplazados cada 2 meses debido a la acumulación en el tiempo de residuos.

La cantidad de soda, ácido y agua para estas soluciones se halla teniendo en cuenta que la solución consiste en 10 kg de soda, o 10 L de ácido por cada 500 L de agua.

- Igualmente se requiere de 1500L de agua para realizar las etapas de preenjuague (500L), enjuague de soda (500L, después del lavado con soda) y enjuague de ácido (500L, después del lavado con ácido).

El consumo de soda, ácido y agua total necesaria, y su correspondiente costo, se puede apreciar en la Tabla 9.

Tabla 9. Costo mensual de sustancias de lavado con el sistema propuesto

	Unidad	Cantidad a reponer por lavado (2%, 152 lavados)	Cantidad a reponer diariamente (5%, 30 días)	Cantidad a reponer por renovación de las soluciones (bimensual=0,5 mensual)	Valor unitario	Costo mensual
NaOH	Kg	1,44	3,6	36	\$ 1.680	\$ 609.638
H ₃ PO ₄	L	1,44	3,6	36	\$ 3.904	\$ 1'416.684
H ₂ O	L	1644	360	5400	\$ 1,9	\$ 507.430
Total						\$2'533.752

Comparando la Tabla 8 y la Tabla 9, se puede apreciar que implementando el sistema propuesto, se obtiene mensualmente un ahorro de \$8'300.000 en soluciones de limpieza.

Adicional a esto, la implementación de este sistema trae consigo grandes ventajas como las que se mencionan a continuación:

- Reducción de los tiempos de lavado.
- Independencia de las secciones a lavar.
- Reducción de riesgos por contacto con sustancias.
- Menor desgaste del pasteurizador.
- Posibilidad de producción y lavado en líneas distintas del proceso.
- Reducción del impacto ambiental al disminuir considerablemente los volúmenes de solución de lavado.
- Ahorro en insumos para la elaboración de las soluciones de limpieza.

5. CONCLUSIONES

El diseño planteado en este proyecto fue el resultado de un análisis de las falencias del sistema de lavado actual. La propuesta resultado de este trabajo se basa en la implementación de un sistema CIP que busca dos objetivos principales: el primero reducir los volúmenes de solución de lavado necesarios y el segundo aumentar la productividad del proceso, planteando un sistema de lavado que permite implementar esta etapa de proceso de forma independiente (con respecto a las diferentes líneas de producción).

De acuerdo a lo analizado en este estudio, la implementación de esta propuesta requiere una inversión de \$62'307.500 pesos colombianos; esto por concepto de adquisición de tanques de almacenamiento, bombas y accesorios, así como la mano de obra requerida para su instalación. Es importante mencionar que dicha inversión permitiría un ahorro mensual promedio de \$8'300.000 (con respecto a los gastos del sistema actual), permitiendo recuperar la inversión en menos de un año.

Igualmente esta propuesta plantea el uso mensual de aproximadamente 16.400 L de solución de lavado. Volumen que es netamente inferior a los 152.000 L mensuales que actualmente se requieren para alcanzar los mismos objetivos. Esto representaría una reducción de aproximadamente un 89%; disminuyendo costos de operación e impacto ambiental del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/Portals/0/archivos/documentos/DDE/Lacteos.pdf>. Consultada el 15 de febrero de 2011
2. Heldman, Dennis; Lund, Daryl. Handbook of food engineering. Second edition. Editorial Advisory Board. United States of America 2007. Pág: 930-967
3. Cheftel, Jean-Claude; Cheftel, Henri. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Volumen II. Editorial Acribia. España 1992. Pág: 371-372
4. Madrid, A; Cenzano, I; Vicente, J.M. Nuevo manual de industrias alimentarias. A. Madrid Vicente Ediciones. España 1994. Pág: 566-571
5. Graham-Rack, Barry; Binsted, Raymond. Hygiene in food manufacturing and handling. Second Edition. Food trade press LDT. London 1973. Pág: 103-104.
6. Bowser, Tim. Construction and operation manual for: Low-cost, Clean-In-Place (CIP) unit for small and very small meat processors
Disponibile en:
http://www.fapc.okstate.edu/files/CIP_ManualV1.pdf. Consultada el 4 de Febrero de 2011
7. Harutiunian, Miguel. Sistema de limpieza CIP (Clean in Place). Edelflex S.A.
Disponibile en:
http://www.edelflex.com.ar/pdf/articulo_edelflex_cip.pdf. Consultada el 29 de marzo de 2011
8. Bejarano, Pedro E. Conceptos básicos de sistemas CIP. Capacitación empresa Larkin. Freskaleche S.A. Sábado 26 marzo de 2011.
9. Crane. División de ingeniería. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. McGraw-Hill. México 1992. Apéndice A y B.
10. L. F. Moody, "Friction Factors for Pipe Flow"; *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, Volume 66, November, 1944; Pag: 671 - 678.
11. Colebrook, C.F.; White, C.M. Experiments with Fluid-Friction Roughened Pipes, Proc. Royal Soc. Series A, 161, Pág: 367-381.(1937).

12. Colebrook, C.F., Turbulent Flow in Pipes with particular reference to the Transition Region between the Smooth and Rough Pipe Laws, J. Inst. Civi Engr. (London), 11, Pág: 133-156.(1938-39).
13. Estrada Tenaz, Blanca Lissette. Análisis técnico-económico de sistemas de limpieza para líneas de producción en la industria de alimentos. Trabajo de grado de Ingeniería Química. Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala, 2007
14. Tetrapak, Dairy processing handbook, Sweden 1995. Cap 21.