

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química

Diseño de un sistema de post adición de colorante
y perfume en una línea de producción de crema
lavaplatos, en una Fábrica de Jabones en Guatemala

Trabajo de investigación presentado por Livy Lorena
Betancourt Jo para optar al grado académico de Licenciado
en Ingeniería Química

Guatemala
2005

Diseño de un Sistema de Post Adición de Colorante
y Perfume en una Línea de Producción de Crema Lavaplatos,
en una Fábrica de Jabones en Guatemala.
Por Livy Lorena Betancourt Jo

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

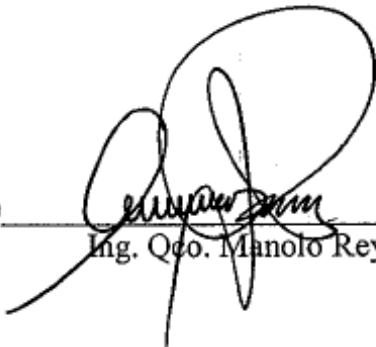
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química

Diseño de un sistema de post adición de colorante
y perfume en una línea de producción de crema
lavaplatos, en una Fábrica de Jabones en Guatemala

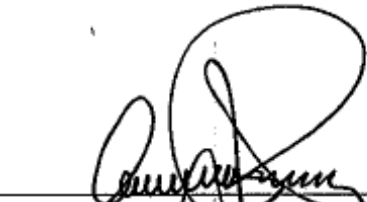
Trabajo de investigación presentado por Livy Lorena
Betancourt Jo para optar al grado académico de Licenciado
en Ingeniería Química

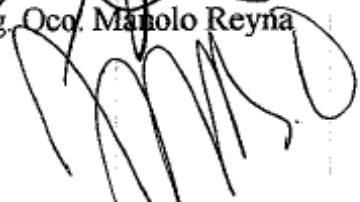
Guatemala
2005

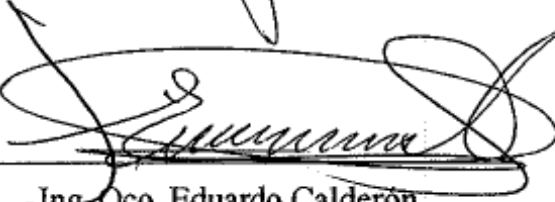
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Qco. Manolo Reyna

Tribunal

(f) 
Ing. Qco. Manolo Reyna

(f) 
Ing. Qco. Jaime Rosales

(f) 
Ing. Qco. Eduardo Calderón

Fecha de aprobación: Guatemala 12 de diciembre del 2005

RESUMEN

La producción de crema lavaplatos actualmente en la línea de estudio, tiene el inconveniente de que se realiza en un mezclador común para todas las variantes. Esto implica que cuando se cambia de producción el tiempo perdido es alto debido a que debe limpiarse el mezclador, tanque de almacenamiento en donde se deposita la crema posterior al equipo antes mencionado, tubería y demás equipo hasta la llenadora. Con el diseño planteado, se busca post adicionar el perfume y colorante en la última fase de la línea (entre el tanque de almacenamiento y la llenadora), produciendo una base que es común en todas las variantes. Para dar paso al diseño del sistema de post adición, primeramente se realizó una prueba a pequeña escala y los resultados de calidad del producto (olor, color, humedad y penetrabilidad) fueron satisfactorios. En el diseño del sistema se planteó la necesidad de un tanque para preparar la solución de colorante, un agitador para homogenizar la solución, dos bombas dosificadoras de engranajes, dos medidores de flujo másico, se empleará el tonel de envase del perfume para su dosificación así como valvulería y tubería de acero inoxidable. El sistema se regirá por un controlador lógico programable (PLC) que controlará el sistema de post adición. La implementación del proyecto tiende a reducir el tiempo de lavado de 150 a 90 minutos que es lo determinante en el aumento de productividad. La rentabilidad del proyecto es bastante notoria pues se tiene una tasa interna de retorno de 69.58 % y una recuperación de la inversión en un tiempo de año y medio, por lo que su implementación debe realizarse a modo de obtener mejores condiciones de producción y ganancias.

ABSTRACT

The production of dishwash paste in the line of study has the inconvenience that a common mixer is used for the making of all variants. This implies a waste of time in every change of production because a mixer, drop tank, piping and other equipment should be cleaned up. The design in mention tends to add perfume and colorant in the last phase of the process line (between the drop tank and filler), producing a common base for all variants. Before designing the post addition system, a small scale test was proved and that the resulting product of the post addition system complies with odor, color, humidity and penetrability specifications. The design included a tank to prepare the colorant solution with its agitator, two metering gear pumps, two mass flow meters, a perfume barrel which will be used as the storage tank in the dosification process, valves and stainless steel piping should be used to carry out this post addition. The post addition system will be controlled by a Programmable Logic Controller (PLC). The implementation of this project tends to reduce the time for cleaning from 150 to 90 minutes, which is the most determining variable in the increasing of productivity. The project's profit value is quite notorious having an internal rate of return of 69.58 % and a recovery of the investment of 1.5 years, for which its implementation should be done in order to have more production time and earnings.

LISTADO DE TABLAS

Tabla No. 1: Dimensiones de tanques de Almacenamiento de Colorantes.....	31
Tabla No. 2: Especificaciones del agitador.....	31
Tabla No. 3: Características de las Bombas de Engranajes para dosificar perfume y colorante.....	31
Tabla No. 4: Medidores de Flujo Másico.....	32
Tabla No. 5: Accesorios y Equipo Normalizado.....	32
Tabla No. 6: Resultados de análisis en el momento de tomar las muestras.....	33
Tabla No. 7 : Resultados de análisis realizados.....	34
Tabla No. 8: Inversión inicial en el año 0.....	36
Tabla No. 9: Flujo de Caja Proyectado a 5 años.....	37
Tabla No. 10: Tasa Mínima Atractiva de Retorno y Tasa Interna de Retorno.....	39
Tabla No. 11: Valor Presente Neto.....	39
Tabla No. 12: Situación Económica sobre la Inversión.....	39
Tabla No. 13: Datos generales.....	51
Tabla No. 14: Porcentaje de colorante por carga.....	51
Tabla No. 15: Concentración de solución de colorante.....	51
Tabla No. 16: Cantidad de solución por carga de crema lavaplatos.....	52
Tabla No. 17: Colorante necesario en 16 horas.....	53
Tabla No. 18: Alturas requeridas para volúmenes necesarios.....	53
Tabla No. 19: Flujos de dosificación de colorante.....	54
Tabla No. 20: Porcentaje de Perfume	55
Tabla No. 21: Flujos de dosificación de perfume.....	55
Tabla No. 22: Variables para dimensionamiento de bombas.....	56
Tabla No. 23: Variables para dimensionamiento de medidores de flujo másico.....	56
Tabla No. 24: Datos base en el sistema actual y en el sistema de post adición.....	61
Tabla No. 25: Costos anuales de mano de obra para lavado, situación actual.....	62
Tabla No. 26: Costos anuales de mano de obra para lavado, situación actual.....	62
Tabla No. 27: Ahorros en mano de obra para el lavado con el sistema post-adición.....	63
Tabla No. 28: Ahorros en mano de obra debido a la reducción de personal con el sistema de adición.....	63
Tabla No. 29: Kilogramos de desperdicio de crema lavaplatos al momento del lavado.....	63

Tabla No. 30: Kilogramos y costos de desperdicios situación actual.....	64
Tabla No. 31: Kilogramos y costos de desperdicios sistema de adición.....	64
Tabla No. 32: Ahorros en costos de desperdicios debido al sistema de adición.....	65
Tabla No. 33: Costos de energía eléctrica durante el período de estudio.....	65
Tabla No. 34: Costos de agua por lavado durante el período de estudio.....	65
Tabla No. 35: Costos de mantenimiento durante el período de estudio.....	66
Tabla No. 36: Ganancia anual con la situación actual.....	67
Tabla No. 37: Ganancia anual con sistema de post adición.....	67
Tabla No. 38: Ganancias extras con el sistema de post adición implementado debido al aumento de producción.....	68
Tabla No. 39: Cuota mensual a pagar sobre préstamo a un banco a 19% de interés sobre la inversión inicial.....	68

LISTADO DE FIGURAS

Figura No. 1 Grupos funcionales y solventes de interés citados en orden decreciente de polaridad.....	6
Figura No. 2 Perfil de velocidad para una corriente laminar estacionaria unidimensional	10
Figura No. 3 Reograma.....	10
Figura No. 4 Funcionamiento de un medidor de flujo.....	13
Figura No. 5 Clases de agitadores móviles	16
Figura No. 6 Agitador doble Z.	17
Figura No. 7 Mezclador sigma	18
Figura No. 8 Funcionamiento de un mezclador estático.....	18
Figura No. 9 Estructura de un mezclador estático.....	19
Figura No. 10 Tanques agitados con rodetes de flujo axial y radial	21
Figura No. 11 Rodetes separados del centro del tanque.....	22
Figura No. 12 Deflectores en tanques	23
Figura No. 13 Números adimensionales de potencia en tanques agitados.....	25
Figura No. 14 Diagrama de instrumentación y proceso.....	35
Figura No. 15 Balance de masa del molorante A y perfume A'	57
Figura No. 16. Balance de masa del molorante B y perfume B'	58
Figura No. 17 Balance de masa del molorante C y perfume C'	59
Figura No. 18 Balance de masa del molorante D y perfume D'	60

INDICE

SUMARIO	iv
ABSTRACT	v
LISTADO DE TABLAS	vi
LISTADO DE FIGURAS	viii
I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	3
A. Cremas Lavaplatos.....	3
1. Tipos de cremas.....	3
B. Ingredientes Relevantes.....	4
1. Ingrediente Activo (IA).....	4
2. Carbonato de Calcio.....	4
3. Perfumes.....	5
4. Colorantes.....	7
C. Flujo de Fluidos.....	9
1. Reología.....	10
D. Medidores de Flujo Másico.....	11
1. Rotor gravimétrico o roto báscula.....	11
2. Caudalímetro de impacto.....	12
3. Báscula dosificadora.....	12
4. Sistema de Coriolis.....	12
5. Medición de Densidad.....	13
6. Medición de Temperatura.....	14
E. Bombas de Engranajes.....	14
1. Bombas de Desplazamiento Positivo.....	14
F. Mezcladores.....	15
1. Mezcladores Móviles.....	17
2. Mezcladores Estáticos.....	18
G. Tanques Agitados.....	20
1. Deflectores (Baffles).....	21
2. Rodetes.....	24
H. Agitadores.....	26
1. Agitadores de Rodete.....	26
2. Hélices (Propulsor).....	26
3. Turbinas.....	26
4. Agitadores de alta eficiencia.....	27
5. Agitadores para líquidos altamente viscosos.....	27
III. JUSTIFICACIÓN	28
IV. OBJETIVOS	29

V. PROBLEMA A RESOLVER.....	30
VI. RESULTADOS.....	31
VII. DISCUSIÓN.....	40
VIII. CONCLUSIONES.....	47
IX. RECOMENDACIONES.....	48
X. BIBLIOGRAFIA.....	49
XI. APÉNDICE.....	51

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la producción de crema lavaplatos en la fábrica de jabones se toma aproximadamente 150 minutos en realizar un cambio de producción debido a tiempos de lavados, tanto de equipo como de tuberías. Lo anterior implica una disminución en la eficiencia de la línea, lo cual podría optimizarse al reducirse este tiempo.

Lo que explica la documentación de la empresa dedicada a la manufactura de jabones es lo siguiente: «El proceso de fabricación implica la generación de dodecibencensulfonato de sodio mediante la reacción entre soda cáustica, ácido sulfónico lineal y agua.» (1990:5) El tensoactivo aniónico se genera en un reactor (mezclador primario) por lotes el cual se descarga en un mezclador donde se agregan materiales para dar consistencia, propiedades abrasivas y estéticas (colorante y perfume). La mezcla obtenida es luego transferida por gravedad en un tanque de almacenamiento y luego bombeada, con una bomba de diafragma, hacia la llenadora pasando por un mezclador dinámico y uno estático los cuales minimizan la cantidad de grumos, obteniendo una crema más homogénea. Existe un mecanismo de recirculación, como medio de seguridad en la llenadora y aseguramiento de homogenización, el cual introduce la crema excesiva presente en la llenadora de nuevo a la línea.

Basándose en el sistema anterior de homogenización, en la línea de trasiego se ideó un mecanismo donde la dosificación de colorante y perfume se realice en el último tramo de la línea de producción, buscando la homogenización de estos materiales en la crema. Este sistema, al aplicarse en un punto cercano a la llenadora, minimiza el recorrido de crema con colorante y perfume por lo que al realizarse un cambio de producción la sección de tubería y equipo con crema coloreada será menor, reduciendo tiempos de limpieza y agilizando el tiempo de producción.

En el sistema planteado, se colocará el perfume y la solución de colorante correspondientes al producto en tanques de almacenamiento. El sistema de adición a implementarse se controlará por accionamiento de un controlador lógico programable (por sus siglas en inglés PLC: Programmable Logic Controller), que regulará la dosificación de colorante y perfume por medio de bombas de engranajes, regido por medidores de flujo máxicos a modo de obtener la razón de dosificación según un flujo variable de mezcla. El colorante se inyectará primero seguido por el perfume.

Se diseñaron las instalaciones y se definieron los accesorios a emplearse para la red de tuberías, tanques, bombas, medidores de flujo así como el dimensionamiento del equipo. Se realizaron pruebas con sistemas a pequeña escala y las muestras obtenidas se sometieron a una evaluación del porcentaje de humedad presente en el producto terminado, penetrabilidad, y se compararon con estándares de color y olor. Así

mismo se sometió a condiciones extremas para determinar su comportamiento y determinar luego de realizados los análisis, su cumplimiento con los requisitos establecidos para producto terminado.

Se muestra un análisis económico en base a todo el aumento y disminución de costos del diseño planteado, evaluando la rentabilidad del proyecto.

II. ANTECEDENTES

A. Cremas Lavaplatos

Las cremas lavaplatos generalmente consisten de alquilbencensulfonato (ABS) como ingrediente activo con su respectiva etapa de neutralización del ácido alquilbencensulfónico, de una sal hidratable como el carbonato de sodio para controlar la consistencia de la pasta (endurecedor de la pasta) y materiales de relleno como carbonato de calcio (abrasivo) y agua. Otros materiales son agregados para razones estéticas y de proceso.

Equipo de proceso apropiado y el control de operaciones es necesario para asegurar la producción de una pasta de buena calidad

1. Tipos de cremas

- Alquilbencensulfonato ramificado, alto nivel de sulfato de sodio.
- Alquilbencensulfonato ramificado, bajo nivel de sulfato de sodio.
- Alquilbencensulfonato lineal, alto nivel de sulfato de sodio.
- Alquilbencensulfonato lineal, bajo nivel de sulfato de sodio.

La química de cada tipo es distinta. Pastas en donde se emplea ABS ramificado para su manufactura son fáciles de procesar en comparación a las de ABS lineales. Cremas elaboradas con ABS lineal tienden a una consistencia más dura durante el proceso de elaboración lo cual es difícil de modificar con aditivos. Por otra parte, niveles altos de sulfato de sodio modifican la hidratación y cristalización del carbonato de sodio durante el enfriamiento del producto terminado, formándose cristales en la superficie y una pasta de endurecimiento no apropiado. Este problema puede solucionarse parcialmente mediante la incorporación de humectantes como glicerina y sorbitol.

Las cremas lavaplatos se fabrican siguiendo una secuencia de neutralización de ácido sulfónico en presencia de agua, seguido de una adición de hidróxido de sodio y terminando con la adición de ingredientes menores. Si el ácido sulfónico contiene un bajo nivel de ácido sulfúrico, los tres primeros componentes se agregan en el siguiente orden: ácido sulfónico, carbonato de sodio (o hidróxido de sodio) y agua; si el ácido sulfónico contiene altos niveles de ácido sulfúrico, el orden se revierte. Además, durante la neutralización del ácido sulfónico se forman grandes volúmenes de dióxido de carbono lo cual debe tomarse en cuenta en el diseño del equipo.

Debido a la viscosa naturaleza de las cremas lavaplatos, se debe considerar el mezclador a emplearse así como la forma de descarga luego del proceso de elaboración. La naturaleza corrosiva del ácido sulfónico influye en la selección de los materiales de construcción.

B. Ingredientes Relevantes

1. **Ingrediente Activo (IA)** Un ingrediente activo común es la sal dodecilbencensulfonato de sodio (lineal o ramificado). El nivel de ingrediente activo en un producto puede ser de hasta 26%. Este nivel provee el buen desempeño y conveniencia del proceso. El ingrediente activo se deriva de la neutralización del ácido alquilbencensulfónico por uno de los tres métodos:

- Con carbonato de sodio *in situ* (en el lugar).
- Con hidróxido de sodio *in situ* (en el lugar).
- Con hidróxido de sodio *ex situ* (fuera del lugar).

El primer método implica la formación de dióxido de carbono lo cual no es problema excepto en situaciones donde, debido a limitaciones de equipo, la mezcla puede sobrepasar la capacidad de la unidad de mezcla. Esto puede controlarse neutralizando primero el ácido sulfónico con hidróxido de sodio, pero este proceso implica el uso de enchaquetado en el reactor, lo cual no es necesario en el primer método donde la generación y evolución del dióxido de carbono es una reacción endotérmica. El tercer método evita el problema de excesiva generación de calor *in situ* (en el lugar) pero el producto puede ser más denso durante el proceso de manufactura.

El ácido alquilbencensulfónico puede hacerse por medio de dos procesos: sulfonación del alquilbenceno con *oleum* o con SO_3^- . El primer proceso da como resultado un ácido sulfónico rico en ácido sulfúrico (aproximadamente 27%). El segundo método produce un ácido sulfónico con poca cantidad de ácido sulfúrico (aproximadamente 1.5%). Esta diferencia tiene un gran efecto en la química básica de la pasta.

2. **Carbonato de Calcio** Este material es empleado como un abrasivo y material de relleno. Un diámetro de partícula de 325 es preferible para una buena distribución de partícula. Materiales de mayor mesh podrían producir una pasta con bastantes grumos. El nivel de este componente en la pasta se define según los sólidos necesarios para un producto de dureza definida. Mayor contenido de carbonato de calcio tiende a reducir el aspecto brillante del producto terminado.


3. **Perfumes** Como regla general, a mayor número de átomos carbonos, menor es la volatilidad de los perfumes. La presencia de un grupo funcional conteniendo oxígeno disminuye la volatilidad, por ejemplo el etano y el benceno son más volátiles que sus alcoholes correspondientes, alcohol etílico y fenol. Dos grupos funcionales en una misma molécula tienden a disminuir la volatilidad aún más. El efecto del grupo funcional conteniendo oxígeno se debe a la polarización de la carga eléctrica (configuración electrónica) en la molécula. Tales moléculas polares se atraen mutuamente y se dicen que están asociadas, reduciendo así su facilidad para separarse y volatilizarse. El grado de asociación debido a la polarización varía de un tipo de grupo funcional a otro. Aldehídos, cetonas, ésteres, por ejemplo, las cuales contienen un grupo carbonilo, son menos asociados que los alcoholes y ácidos en los cuales la presencia de un grupo hidroxilo, resulta como un enlace de hidrógeno. En los ácidos, donde el grupo hidroxilo y el grupo carbonilo forman el grupo carboxílico, se forman uniones más fuertes entre pares de moléculas o dímeros. Estos se rompen a elevadas temperaturas (temperatura de ebullición del material) por lo que se percibe son las moléculas individuales.

Las propiedades de los perfumes están relacionadas a su constitución química, pero los mecanismos por lo cual su estructura química lleva a la percepción del olor implica un fenómeno físico: las fuerzas de atracción entre moléculas. Estas fuerzas determinan la tasa de evaporación de perfumes en solución o superficies y explican el porque de la calidad del olor en mezclas las cuales varían dependiendo del solvente o base en las cuales se encuentra incorporado el perfume.

Fuerzas de atracción mutua y enlaces de hidrógeno no ocurren únicamente entre las moléculas de algún material, también entre las distintas moléculas que forman mezclas y soluciones. Estas afectan directamente la solubilidad del perfume en distintos solventes, su desempeño de olor en dichos sistemas y el carácter de olor de la solución.

La solubilidad de los perfumes en distintos solventes se determina por la relación entre las fuerzas de atracción entre las moléculas de la sustancia y las fuerzas de atracción que ocurren entre las moléculas del solvente. Si ambas son similares en fuerza y clase, la solubilidad es alta, de no ser así ocurre lo contrario.

Figura No. 1: Grupos funcionales y solventes de interés citados en orden decreciente de polaridad

Alta Polaridad	Grupo Funcional	Solvente
	Ácidos	Agua
	Fenoles	Alcoholes de bajo peso molecular
	Alcoholes	Surfactantes (detergentes, shampoo, etc)
	Aldehídos	Alcoholes de alto peso molecular
	Esteres	Grasas y aceites (vegetal, animal y sintética)
	Cetonas	Ceras (vegetal y sintética)
	Éteres	Aceite mineral, ceras
	Hidrocarburos insaturados	
	Hidrocarburos saturados	
	Baja Polaridad	

Dentro de cualquier grupo funcional, la polaridad decrece al aumentar la cadena carbonada no polar. La polaridad de mezcla de solventes es intermedia entre las polaridades respectivas de solventes individuales de las cuales se conforma.

Problemas de solubilidad ocurren únicamente en los rangos extremos de la lista de solventes. En los solventes altamente polares, los sistemas contienen altas proporciones de agua como en las cremas, espumas de baño, cremas lavaplatos con bajos niveles de surfactante (mezclas de surfactante-agua) los cuales contienen un bajo contenido alcohólico. En estos últimos, generalmente se agrega una sal para aumentar la viscosidad. Esta adición luego incrementa la polaridad del agua y agrava los problemas de solubilidad del perfume.

Los problemas de solubilidad de sistemas agua alcohol se incrementan a bajas temperaturas. Los problemas de solubilidad de perfumes en mezclas de agua-surfactante se incrementan a altas temperaturas.

En el extremo de compuestos de baja polaridad, pueden ocurrir problemas en aceites para piel los cuales contienen altas proporciones de aceites minerales o en candelas de parafina. Problemas de solubilidad nunca ocurren en fases múltiples como emulsiones o jabones, ya que en este escenario los materiales que

conforman el perfume tienen la opción de integrarse a la fase en la cual son más solubles. Atracciones fuertes y mutuas entre el solvente y las moléculas de los materiales que conforman el perfume resultan en una tendencia decreciente en la evaporación del perfume y por lo tanto disminuye la intensidad de olor del material.

Debido a que la composición de los perfumes normalmente consiste en mezclas de materiales de perfume que difieren en su polaridad, los distintos componentes de un perfume son atrapados a distintas magnitudes cuando el perfume es disuelto en un solvente. De tal modo, si un perfume de composición dada se disuelve en dos sistemas distintos, el olor en ambos será distinto.

Por lo tanto se ha establecido que el olor de cualquier producto perfumado es afectado por la base del producto en dos maneras:

- Por el olor de la base
- Por la forma en la que la base, a través de fuerzas de atracción físicas, afecta el olor del perfume
- Descomposición química del perfume por componentes de la base.

La durabilidad de olor de un material perfumado depende de su volatilidad: a mayor volatilidad, menor es la persistencia. De igual modo, en cualquier aplicación, la persistencia también depende de la concentración del material empleado (a mayor dosis, mayor persistencia) y de la fuerza de atracción entre el material que conforma al perfume y la base en la cual este material se ha incorporado, así también el sustrato al cual se aplicó. Los perfumes se enlazan más fuertemente en solventes no volátiles, lo cual también disminuye su intensidad en el ambiente. (Calking, R y Stephan J, 1994)

4. Colorantes El colorante es un compuesto que se aplica a un sustrato ya sea por dispersión o difusión para dar obtenerse un color permanente. Tiene que interactuar con el sustrato y éste tiene que ser capaz de absorberlo. Los colorantes, en general, son solubles en el medio en el que se aplican o en el producto final.

Las condiciones que se deben cumplir para un buen colorante son:

- Tener un fuerte poder colorante, es decir, con poca cantidad de sustancia se debe conseguir gran superficie coloreada.
- Debe tener solidez, es decir, debe ser resistente a los agentes atmosféricos y la luz.
- Se debe conseguir una buena adherencia al sustrato.
- Tiene que tolerar otros colorantes que puedan mezclarse.
- Debe ser fácilmente aplicable.

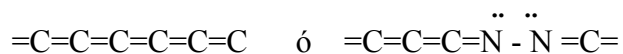
Para que una sustancia dé color, debe absorber la radiación entre 380 y 750 nm. El color que se percibe será el complementario a la radiación absorbida. Las transiciones más habituales en los compuestos orgánicos son $n \rightarrow \sigma^*$ y $\sigma \rightarrow \sigma^*$ que corresponden a $\lambda = 150-200$ nm. Estos valores están por debajo de la radiación que daría el color visible. Pero si un compuesto presenta una diferencia estructural que permita que la distancia entre niveles sea menor, la sustancia en cuestión presentará color. La conjugación y ciertos grupos funcionales son capaces de rebajar esta diferencia de energía, obteniéndose compuestos coloreados. A estos grupos se les denomina cromóforos. Ejemplos de estos grupos son dobles enlaces, carbonilos, nitros, aromáticos, azos, nitrilos, etc. Además existen grupos que modifican la capacidad de los grupos cromóforos para absorber la luz; son los grupos auxocromos, como aminos, hidroxilos o halogenuros.

- Grupos Cromóforos: Son los radicales químicos responsables de la modificación molecular a la que se debe la aparición del color. Según el grupo cromóforo principal se pueden clasificar principalmente 6 tipos:

- Colorantes azoicos.
- Colorantes de antraquinona.
- Colorantes estilbenicos.
- Colorantes de trifenilmetano.
- Colorantes acrílicos.
- Colorantes de indol.

- Cromógeno: El conjunto formado por el grupo cromóforo más anillo aromático.
 - Auxocromos o potenciadores del color: Están dotados de carga eléctrica, es decir, poseen carácter ácido o básico; el colorante, tiene afinidad por la estructura que se va a teñir.

Combinando estos diferentes grupos en estructuras normalmente aromáticas y otros grupos funcionales que modifican la solubilidad y afinidades obtenemos los colorantes orgánicos. El sistema de dobles enlaces conjugados, es una secuencia ordenada de enlaces sencillos y dobles entre átomos de carbono, en algunos casos también hay incluidos átomos de nitrógeno. Por ejemplo,



Otros grupos no saturados de una molécula pueden contribuir a la coloración de compuestos orgánicos, los cuales son los grupos funcionales cromóforos. Por ejemplo, el óxido nítrico.

Los colorantes se dividen en:

- Naturales: Se obtienen en forma de extractos a partir de ciertas plantas e insectos, siendo los más conocidos como colorantes nucleares: la hematoxilina, carmín y citoplasmáticos y la orceína.

- Artificiales: Derivados de la anilina. Se obtienen a partir de alquitrán de carbón, en la actualidad se sintetizan.

C. Flujo de Fluidos

El gradiente de velocidad o velocidad de corte (du/dy) es una función de la posición en la corriente y por ende define un campo. En la Figura no. 2, se muestra el perfil de velocidad para una corriente laminar estacionaria unidimensional, donde se observa que el gradiente de velocidad es el recíproco de la pendiente del perfil de velocidad.

La abscisa u es la velocidad y la ordenada y es la distancia medida perpendicularmente desde la pared y , formando un ángulo recto con la dirección de la velocidad. La velocidad (u) aumenta con la distancia desde la pared, pero a una velocidad decreciente. Fijando la atención sobre las velocidades en dos planos próximos, el A y B, separadas entre sí una distancia Δy . Sean u_A y u_B las velocidades respectivas de los planos y $u_B > u_A$, por lo que $\Delta u = u_B - u_A$. El gradiente de velocidad en y_A , du/dy se expresa en la siguiente ecuación:

$$\frac{du}{dy} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Ecuación C.1

Un fluido real se opone siempre a la tensión de corte (τ); siempre que exista una variación de dicha tensión con el tiempo tiene que existir una fuerza de corte. En un flujo unidimensional la fuerza de corte actúa paralelamente al plano de corte. Suponiendo un plano C y a una distancia y_C de la pared, la fuerza de corte F_S es ejercida por el fluido que se encuentra sobre dicho plano. El fluido entre la pared y el plano C ejerce una fuerza igual y opuesta ($-F_S$). En lugar de emplear la fuerza total F_S se emplea la fuerza por unidad de área del plano cortante conocida como tensión de corte. (McCabe,W., et. al., 2002)

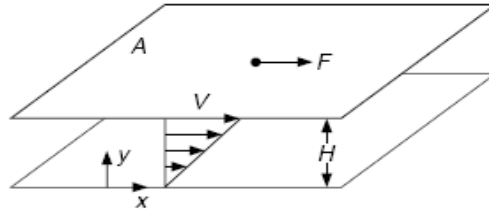
$$\tau = \frac{F_S}{A_S}$$

Ecuación C.2

donde A_S es el área del plano. La tensión de corte depende de y , por lo que al igual que el gradiente de velocidad también constituye un campo. La tensión de corte se origina tanto en un flujo laminar como turbulento, y aquella debida al flujo laminar o viscoso se simboliza por τ_v . (McCabe,W., et. al., 2002)

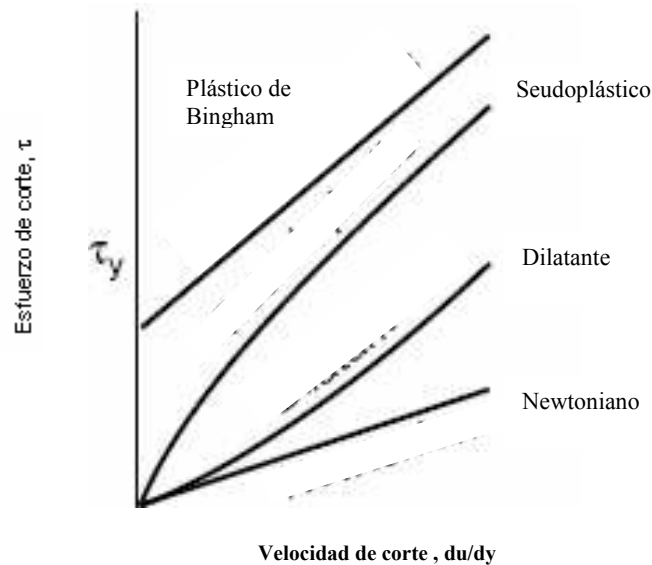
1. Reología La reología es la disciplina de la mecánica de fluidos que estudia la relación de deformación y tensión del fluido y busca obtener ecuaciones constitutivas por el cual la tensión puede ser computada a partir de tasas de deformación. Los fluidos pueden clasificarse en tipos reológicos en referencia del flujo de corte.

Figura No. 2 Perfil de velocidad para una corriente laminar estacionaria unidimensional



Un reograma es una gráfica de tensión de corte (τ) en función de la tasa de corte (du/dy) de un fluido en flujo de corte simple.

Figura No. 3 Reograma



El fluido Newtoniano es una línea recta que pasa por el origen. La pendiente de la recta es la viscosidad. Para un flujo Newtoniano, la viscosidad es independiente de la tensión de corte y puede depender solo de la temperatura y tal vez de la presión. Este tipo es el de mayor importancia en la ingeniería. Gases y líquidos

de bajo peso molecular son generalmente newtonianos. La ley de viscosidad de Newton se representa a viscosidad constante y velocidad de corte ($\dot{\gamma}$):

$$\tau = \mu \dot{\gamma} = \mu \frac{du}{dy}$$

Ecuación C.1.1

Todos los fluidos en los cuales la viscosidad varía según la tensión de corte son No Newtonianos (Plástico de Bingham, seudoplásticos, dilatante). Para estos fluidos la viscosidad se define como la razón entre la tensión de corte y la tasa de corte (du/dy) y se conoce como viscosidad aparente.

Entre los plásticos de Bingham pueden citarse las aguas residuales lodosas, las cuales fluyen hasta alcanzar una tensión de corte mínima, la crema lavaplatos puede categorizarse de éste tipo. El producto presenta un valor umbral de esfuerzo de corte (τ_y), el cual es necesario sobrepasar para que el fluido se ponga en movimiento.

La curva de los líquidos seudoplásticos pasa por el origen y es cóncava hacia abajo para bajas tensiones de corte y se vuelve casi lineal para tensiones de corte elevadas, éstas se caracterizan por un adelgazamiento de la velocidad de corte. La viscosidad disminuye a medida que aumenta el esfuerzo de corte sobre el fluido.

La curva del fluido dilatante es cóncava hacia arriba para bajas tensiones de corte y casi lineal para tensiones de corte elevadas, comportamiento presentado por arena movediza y algunas emulsiones de arena. Se caracterizan por un engrosamiento de la velocidad de corte. La viscosidad aumenta a medida que aumenta el esfuerzo de corte al cual es sometido el fluido.

D. Medidores de Flujo Másico

Los medidores de flujo másico miden directamente el peso del flujo y no su volumen. Existen modelos que miden flujos gaseosos o líquidos, por ejemplo, expresándolos directamente en libras y por tanto no le afectan las variaciones de presión, temperatura ni densidad del fluido. La unidad completa incluye cuatro componentes básicos: el elemento sensible a la velocidad del flujo, el mecanismo del giroscopio integrador, el registrador ciclométrico y el accionador de contactos. Existen varios tipos de medidores de flujo másico entre los que pueden citarse:

1. Rotor gravimétrico o roto báscula Este tipo de medidor se basa en el principio funcional de

una compuerta horizontal cerrada que funciona gravimétricamente. El material, desde la posición de alimentación hasta la descarga alimenta el rotor, ejerciendo una fuerza gravimétrica del peso que transmite a la célula de carga.

2. **Caudalímetro de Impacto** El funcionamiento de éste se basa en la fuerza de impacto, transmitida por la cantidad de materia que impacta con la placa en un instante dado, es decir, el caudal másico.

3. **Báscula dosificadora** El material pasa por una banda transportadora sobre una báscula que está soportada por cuatro flejes, dos horizontales y dos verticales, los cuales absorben los esfuerzos horizontales y permiten solamente los esfuerzos verticales. Estos esfuerzos verticales están calibrados mediante células de carga y son directamente proporcionales al caudal másico que pasa.

4. **Sistema de Coriolis** Se basa en las fuerzas de Coriolis producidas por un flujo másico al hacerlo pasar por unos álabes con velocidad angular constante.

Según cita Creus al el matemático francés Coriolis (1795-1843) «toda masa que se desplace con una velocidad lineal v a través de una superficie giratoria con velocidad angular constante w , experimenta una velocidad tangencial (velocidad angular x radio de giro) y será mayor en cuanto mayor sea el alejamiento del centro» (2001:<http://www.unizar.es/aeipro/finder/INGENIERIA%20DE%20PRODUCTOS/BA01.htm>)

Por lo anterior, el principio de medida se basa en la generación de fuerzas de Coriolis, las cuales siempre están presentes cuando los movimientos traslaciones y rotacionales están sobrepuestos.

$$F_c = 2\Delta m(v - w)$$

Ecuación D.4.1

donde,

F_c = Fuerza de Coriolis

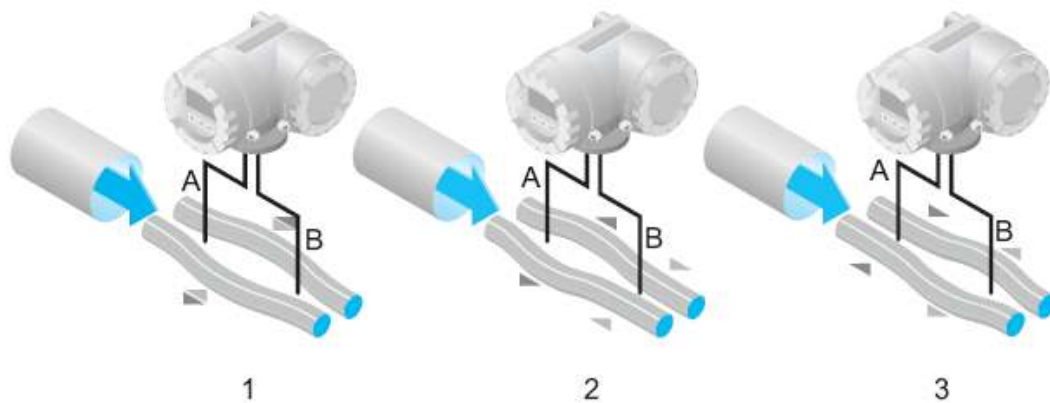
Δm = masa en movimiento

w = Velocidad rotacional

v = Velocidad radial en sistemas rotativos u oscilantes

La amplitud de la fuerza de Coriolis depende de la masa en movimiento (Δm), su velocidad (v) en el sistema y en el flujo de masa. Existen medidores de flujo que en lugar de emplear velocidad angular (w) utilizan la oscilación. Las fuerzas de Coriolis producidas en las tuberías de medición causan un cambio de fase en las oscilaciones de la tubería.

Figura No. 4 Funcionamiento de un medidor de flujo



En la Figura no. 4 puede observarse el estado 1, cuando no hay flujo los dos tubos oscilan en fase. El flujo de masa causa desaceleración de la oscilación en la entrada de las tuberías (estado 2) y aceleración en la salida (estado 3).

La diferencia de fases (A y B) incrementa con un flujo de masa en aumento. Sensores electrodinámicos registran las oscilaciones de la tubería en la entrada y salida. El balance del sistema se asegura por la oscilación de antifase de las dos tuberías de medición.

El principio de medición opera independientemente de:

- Temperatura
- Presión
- Viscosidad
- Conductividad
- Perfil de flujo

5. Medición de Densidad Las tuberías de medición se encuentran continuamente excitadas en su frecuencia de resonancia. Si hay algún cambio en la masa, la densidad del sistema oscilante resulta en un ajuste automático en la frecuencia de oscilación. La frecuencia de resonancia es una función de la densidad del fluido. El microprocesador emplea esta relación para obtener una señal de densidad.

6. Medición de Temperatura El sistema de medición consiste de un transmisor y un sensor. Hay medidores donde el transmisor y sensor forman una sola unidad mecánica y otros donde el transmisor y el sensor se colocan físicamente separados uno del otro.

La temperatura de los tubos se determina en orden de calcular el factor de compensación debido a los efectos de temperatura. La señal corresponde a la temperatura del proceso y también se encuentra como una señal de salida.

E. Bombas de Engranajes

Las bombas se caracterizan por aumentar la energía mecánica del líquido, aumentando su velocidad, presión, elevación o las tres. En las bombas, la densidad no cambia significativamente por lo que puede asumirse como constante. Entre las dos clases principales de bombas destacan:

- Desplazamiento positivo
- Centrifugas

1. Bombas de Desplazamiento Positivo La cabeza dinámica total desarrollada por una bomba centrífuga, de flujo mixto o axial es únicamente determinada para un flujo dado por la velocidad a la cual gira. Bombas de Desplazamiento Positivo y aquellas que se acercan a un desplazamiento positivo producirán cualquier cabeza que esté sobre ellas por encima de las restricciones del sistema para fluir. La cabeza máxima que puede obtenerse se determina por la potencia disponible y la fuerza de las partes de la bomba. Una válvula de alivio automática se coloca para liberar presión, así mismo se requiere de una presión máxima de descarga.

Las eficiencias generales de las bombas de desplazamiento positivo son mayores a las centrifugas pues la pérdidas internas son minimizadas. Por otra parte, la flexibilidad de cada pieza del equipo es bastante limitada. Las dos clases principales de bombas de desplazamiento positivo son:

- Bombas Reciprocantes
- Bombas de Engranajes

En todas las bombas de desplazamiento positivo, una cavidad o cavidades son llenadas alternadamente por el fluido a bombearse y luego vaciadas por la acción de la bomba.

Las bombas de engranajes se conocen como bombas de rotatorias. Se distinguen de las reciprocantes pues éstas no poseen válvulas de retención (éstas están localizadas previo a la succión y en la línea de descarga). Las bombas de engranajes operan mejor en fluidos limpios y moderadamente viscosos.

Entre los tipos de bombas de engranajes se encuentran las bombas de engranaje cilíndrico que poseen engranajes que giran dentro de la coraza. El líquido entra a la línea de succión por la parte inferior de la corza y queda atrapado en los espacios que existen entre los dientes y la coraza y circula hacia la parte superior de la misma para ser descargado. El líquido no regresa a la cámara de succión debido al estrecho ajuste de los engranajes en el centro de la bomba.

La bomba de engranaje interno posee una coraza dentro de la cual hay un engranaje cilíndrico o piñón que engrana con un engranaje de anillo. Este engranaje es coaxial con el interior de la corza pero el piñón, que es movido desde el exterior, está montado excéntricamente con respecto al centro de la coraza. Una media luna metálica estacionaria llena el espacio que existe entre los dos engranajes. El líquido se transporta desde la entrada hasta la descarga por ambos engranajes, en los espacios que hay entre los dientes del engranaje y la media luna.

F. Mezcladores

Se conocen tres mecanismos esenciales de mezcla:

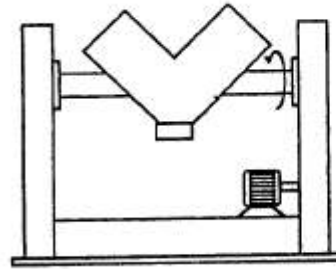
- Convección (*convection, macromixing*), en la que un grupo de partículas de un componente se traslada en bloque a regiones ocupadas por otro.
- Difusión (*diffusion, minimixing*), cuando se produce la transferencia de partículas aisladas de un componente a regiones ocupadas por otro.
- Cizallamiento (*shear*), es una variante de la convectiva.

Existen dos clases de mezcladores:

- Inmóviles o estáticos (*fixed-shell mixers, stationary shell mixers*).
- Móviles, de contenedor (*shell, body, drum*) móvil, giratorios o de caída libre (*tumbling mixers, tumbler mixers*).

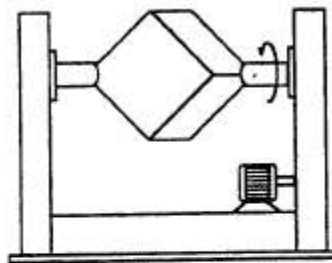
Figura No. 5 Clases de agitadores móviles

- en V (*V-shaped blender, twin-shell blenders*) empleados para trabajos de pequeña o mediana escala.



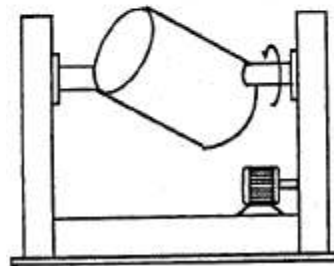
(a)

- cúbicos (*cube blenders*)



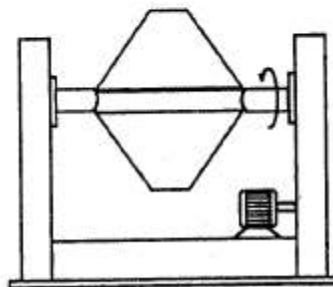
(b)

- cilíndricos (*barrel blenders*)



(c)

- troncocónicos o bicónicos (*double-cone blenders*), empleados en la producción industrial.



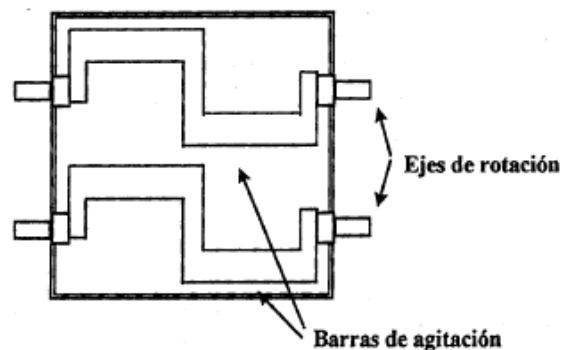
(d)

1. **Mezcladores Móviles** Este tipo de mezcladores trabajan en su mayoría por difusión. A algunos agitadores se les incorpora un eje de palas o aspas para mejorar el proceso. En éstos los materiales son fáciles de cargar y descargar, de limpiar y requieren el mantenimiento mínimo

Los mezcladores móviles horizontales en su mayoría poseen aspas o palas internas para agilizar el mezclado. Los mezcladores de cintas (*ribbon blenders*) poseen dos cintas helicoidales girando sobre un eje en común. La primera cinta se mueve lentamente en un sentido y la otra gira rápidamente en dirección contraria, mezclando convectivamente. Este aparato no resulta idóneo para materiales friables, y tiene el inconveniente de dejar zonas sin mezclar, en los extremos de la cámara.

El mezclador de aspas con forma de Z (Figura no. 6), conocido como agitador Sigma, genera fuertes turbulencias en su interior, con lo que aumenta la eficiencia reduce el tiempo de mezclado. Hay modelos con Doble Z los cuales por su geometría en las aspas, reduce las zonas muertas (áreas sin mezclado).

Figura No. 6 Agitador doble Z



Debido a lo espeso de las cremas lavaplatos, el caballaje por volumen de crema debe ser mayor al empleado en mezcladores convencionales de líquidos. La potencia debe ser distribuida uniformemente a lo largo del mezclador. Se recomiendan mezcladores sigma (Figura No. 7) debido a que éstos brindan una potencia por volumen mayor y una distribución constante de la potencia de entrada. El agitador sigma se emplea para romper los aglomerados pero su gran desventaja es que produce calentamiento del material y por lo tanto consume mucha energía, así mismo son lentos y propensos a la contaminación. Estos mezcladores se utilizan para incorporar sólidos en líquidos y mezclas pastosas.

Un buen mezclador es aquel que mezcla todo el lote del producto en forma suave, además de ser fácil de limpiar, descargar, tener poca fricción, buena hermeticidad, alta movilidad, fácil mantenimiento y bajo consumo de energía.

Figura No. 7 Mezclador sigma



Los mezcladores de turbina no son adecuados para mezclar productos viscosos debido a que su potencia se concentra en un volumen pequeño alrededor de las aspas.

En el caso del proceso de fabricación de cremas lavaplatos, debido a que el ácido sulfúrico presente en el ABS tiende a atacar el acero inoxidable, la neutralización se debe realizar agregando primero agua y luego carbonato de sodio o hidróxido de sodio seguido de éstos dos el ácido sulfúrico. Este procedimiento minimizará el contacto directo entre el ácido sulfúrico y el acero inoxidable del equipo. Es preferible colocar un sistema de enchaquetado en el mezclador donde se lleve a cabo la formación del IA, pues la reacción llevada a cabo es exotérmica. Temperaturas muy altas pueden tener efectos negativos en las características de la pasta y se tiende a incrementar la tasa de corrosión en el metal por lo que esta debe manejarse como máximo a 65 °C.

2. Mezcladores Estáticos Los mezcladores estáticos consisten en una serie de elementos geométricos de mezclado dentro de una tubería, el cual emplea la energía de la corriente de flujo para crear un mezclado entre dos o más fluidos (Figura No. 8 y 9). Éstos pueden ir de forma horizontal o vertical.

Figura No. 8 Funcionamiento de un mezclador estático

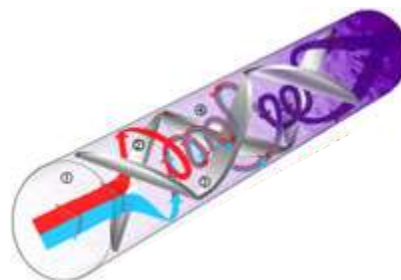
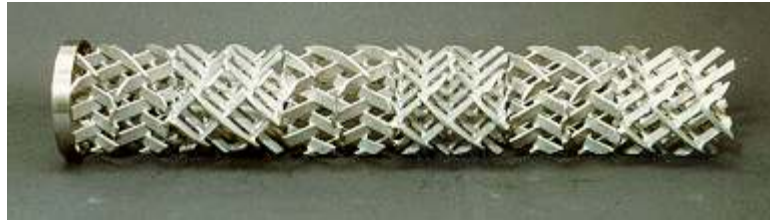


Figura No. 9 Estructura de un mezclador estático



Los mezcladores estáticos se colocan en línea y no poseen partes móviles, son simples y económicos para muchos problemas de mezclado. Estos consisten en una serie de elementos estacionarios y rígidos colocados longitudinalmente en la tubería de instalación. Estos forman canales intersectados que se dividen, rearreglan y recombinan fluidos en pequeñas capas hasta crear una corriente homogénea, éstos a su vez incrementan la transferencia de masa y calor en procesos continuos. Este tipo de agitadores tienen bajas caídas de presión. Al incrementarse la razón de flujo, o disminuir el diámetro del mezclador, o incrementar el número de elementos helicoidales en la cinta (tipo espiral), la caída de presión incrementará.

Este tipo de agitadores eliminan la necesidad de emplear tanques agitados y mezcladores dinámicos (éstos requieren motores, rodets, ejes), especialmente cuando el tiempo de residencia no es un factor crucial en el proceso. Una ventaja es que este tipo de agitador puede aumentar y mejorar el proceso de mezclado de tanques agitados por medio de recirculación, con la adición de químicos previo al agitador estático, en lugar de agregar químicos directamente en el tanque. Estos agitadores en comparación con los mecánicos, no necesitan mantenimiento ni fuentes externas de poder. (Naqvi, 2005)

Una estructura bastante eficiente es el mezclador con geometría en espiral. Cintas metálicas son dobladas y ajustadas con vueltas a 180° para formar elementos helicoidales para rotaciones de derecha a izquierda. El montaje de elementos se inserta en un tubo, con diámetro nominal igual al ancho de los elementos.

El mezclador de deflectores consiste en una serie de deflectores semi elípticos sobrepuestos en una tubería. Esta geometría asegura un mezclado efectivo, eliminando densidad, temperatura y concentración de gradientes.

La potencia (W) teórica de un mezclador estático:

$$P = 0.262 \times 745.70 \times \text{caída de presión (psi)} \times \text{flujo másico (ft}^3/\text{s)}$$

Algunas aplicaciones de los mezcladores estáticos son:

- Mezclado de agua: dos o cuatro elementos a mezclarse, a una velocidad de 0.3 o 0.9 m/s.

- Mezclado flash: dos o cuatro elementos, a una velocidad de 0.9 a 1.5 m/s.
- Control de pH: cuatro a seis elementos, a velocidades entre 0.9 a 1.5 fps.
- Premezclado químico: dos a cuatro elementos, 0.3 o 0.9 fps.
- Número de Reynolds menores que 500: 12 a 40 elementos.
- Adhesivos y sellantes: 16 a 40 elementos.

Otra aplicación importante es en intercambiadores de calor de concha y tubo para calentamiento o enfriamiento de materiales viscosos. En procesos de inyección y extrusión se emplean para transferencia de color, así también para dispersión de color uniforme. En algunas industrias químicas se emplean para dispersar eficientemente dióxido de titanio y silicatos en un material viscoso.

El mezclador estático tiene la capacidad de mezclar lodos, lechadas y fibras. Éste se controla por cierto grado de flujo y corte donde el mezclador dinámico tiene ciertas áreas muertas, con variaciones de flujo y corte. Cuando se mezclan fluidos de baja viscosidad (turbulentos) en un mezclador estático, el nivel de mezclado es dependiente de la tasa de flujo a lo largo del mezclador. En uno dinámico, se puede aumentar o disminuir las revoluciones por minuto del rodete, cambiar diámetros del mismo para ajustarse a las condiciones del proceso en cuanto el motor lo permita.

Los mezcladores estáticos trabajan bajo el principio de difusión, convección y corte para alcanzar mezclas homogéneas. A mayor número de Reynolds (R_e) (flujo turbulento) se necesitan menos elementos de mezcla que a bajos números. Para mezcladores estáticos en espiral, la mayoría de aplicaciones requieren dos a seis elementos de mezclado si el número de Reynolds es mayor a 5000. Para doce elementos o más se necesitará un flujo laminar con número de Reynolds mucho menor que 5000.

G. Tanques Agitados

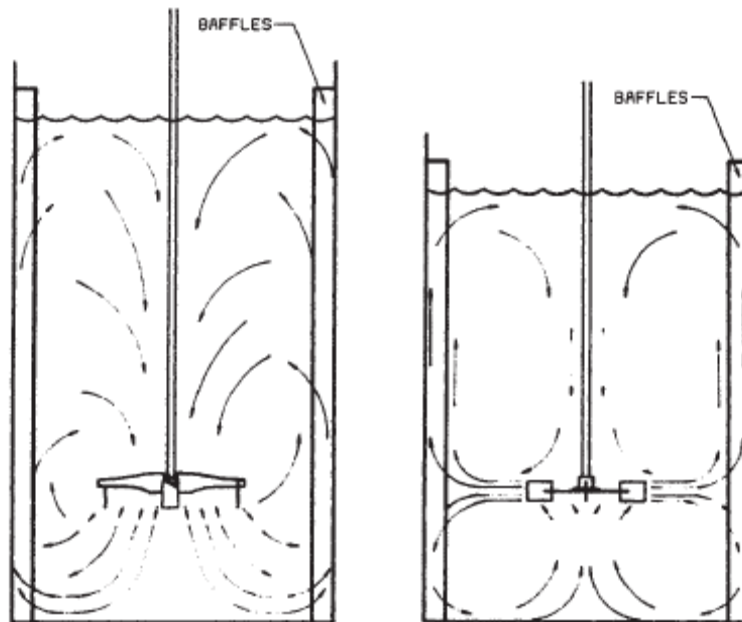
Los líquidos se agitan en algún tipo de tanque o recipiente, generalmente cilíndrico con un eje vertical. El fondo del tanque es redondeado, no plano, para eliminar las esquinas o regiones agudas donde las corrientes de fluido no podrían entrar. La profundidad es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Un agitador se instala sobre un eje sostenido en la parte superior, dicho eje se acciona por un motor el cual puede conectarse al eje por medio de una caja reductora de velocidad. Algunos tanques llevan líneas de entrada y salida, serpentines, encamisados y pozo para termómetros u otros equipos para medir temperaturas.

La manera en que un líquido se mueve en un tanque agitado depende del tipo de rodete o rodete (agitadores), características del líquido principalmente de su viscosidad, tamaño y proporciones del tanque, deflectores y agitador. La velocidad del líquido se compone por:

- Componente radial la cual actúa en dirección perpendicular al eje del rodete.
- Componente de la velocidad longitudinal, actúa en forma paralela al eje
- Componente tangencial o rotacional y ésta actúa en dirección tangente de la trayectoria circular alrededor del eje.

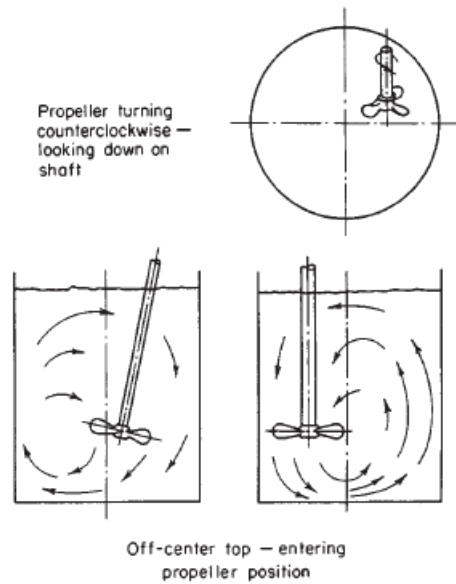
Los componentes radial y longitudinal son útiles y proveen el flujo necesario para la acción de mezclado. En el caso de ejes verticales en el centro del tanque, el componente tangencial sigue una trayectoria circular alrededor de éste provocando la formación de un vórtice en el líquido lo cual no favorece al mezclado. Además si hay partículas sólidas, las corrientes circulares las lanzan contra la pared por acción de la fuerza centrífuga, cayendo al fondo del tanque y en lugar de mezclar se concentran. Si la turbulencia es fuerte el patrón en el tanque es el mismo independientemente del tipo de rodete. Para velocidades de giro elevadas del rodete, la profundidad del vórtice puede llegar al rodete y el gas sobre el líquido puede introducirse en él, lo cual es la mayoría de las veces no se desea.

Figura No. 10 Tanques agitados con rodetes de flujo axial y radial



1. Deflectores (Baffles) Para prevenir el flujo circulatorio y la turbulencia pueden emplearse en tanques pequeños rodetes separados del centro del tanque, donde el eje se mueve alejado de la línea central del tanque, inclinándose después en un plano perpendicular a la dirección del movimiento.

Figura No. 11 Rodetes separados del centro del tanque



Si el tanque es más grande, el agitador se instala en un lado del tanque, con el eje en un plano horizontal pero formando cierto ángulo con el radio.

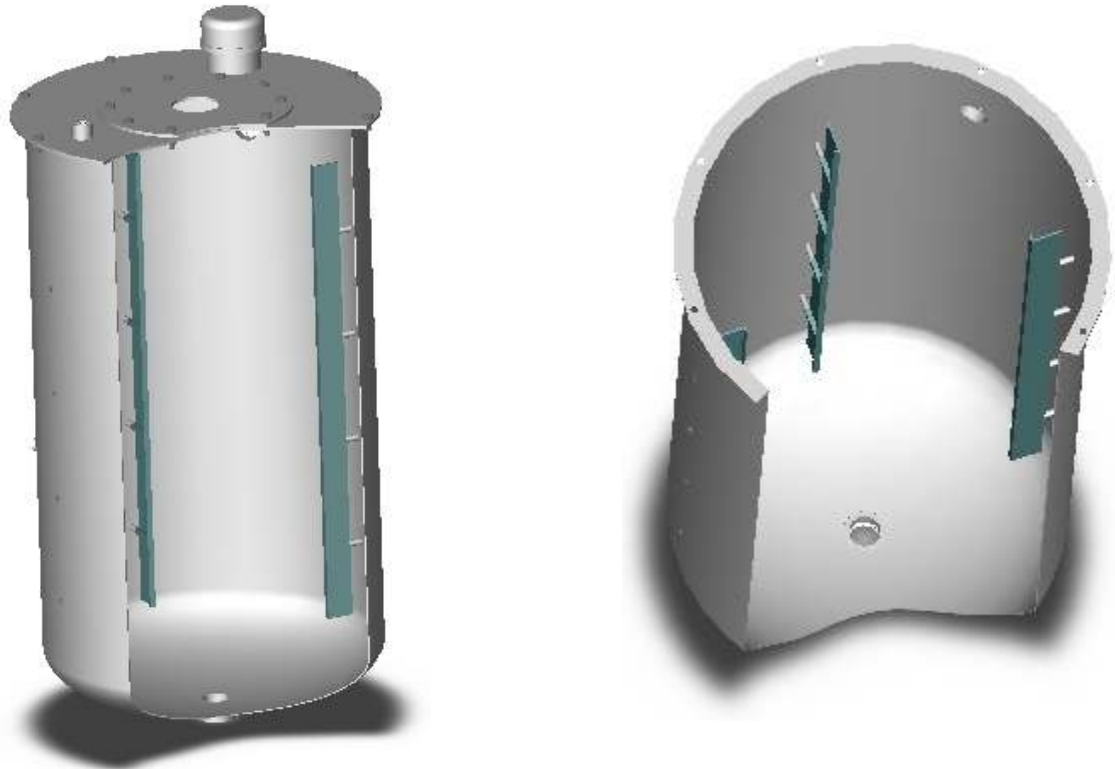
En tanques de mayor tamaño se emplean deflectores para reducir la turbulencia, siempre que se empleen agitadores verticales, a modo de impedir el flujo rotacional sin interferir con el radial o longitudinal.

Los deflectores (*baffles*) son útiles para detener los remolinos en un tanque de mezclado. Sin deflectores, las velocidades tangenciales provenientes del rodete causa que toda la masa del fluido gire. Puede que se vea bien desde la superficie que todo el vórtice vaya todo hacia abajo (hacia el rodete), pero éste es el peor mezclado. Hay poco corte y las partículas van girando únicamente y no mezclándose, esto es más una centrífuga y no un mezclador.

Los deflectores más comunes son placas planas de metal que van a lo largo del tanque, sobre el eje vertical y se conocen como deflectores estándares. Algunos pueden tener los deflectores extendidos hasta el fondo, otros van sobre el eje vertical parcialmente (deflectores parciales). Algunos deflectores se adhieren completamente a la pared del tanque, pero la mayoría tienen un espacio entre los deflectores y la pared del tanque.

La mayoría de tanques contienen tres deflectores, cuatro es lo más común. El que se agreguen más deflectores no aumenta el consumo de potencia de los rodetes.

Figura No. 12 Deflectores en tanques



El ancho (w_B) del deflector es función de la viscosidad. Para fluidos altamente viscosos los deflectores no son requeridos pues existe bastante resistencia para fluir en las paredes. La viscosidad es inversamente proporcional al ancho del deflector.

Para fluidos turbulentos se conocen dos anchos estándar:

- Métrico estándar: $w_B=(1/10)D$
- Estándar EE.UU. = $w_B=(1/12)D$

donde D es el diámetro el tanque. Esta diferencia de medición se debe a la conveniencia del sistema métrico empleado.

La altura de los deflectores generalmente van desde la línea tangente del fondo hasta la de arriba. Algunos se extienden hacia abajo en la cabeza. Si se tienen volúmenes o pesos consistentes por batch, no se recomienda extender los deflectores en la superficie líquida a no ser que se desee airear el contenido. Los deflectores que se extienden en la superficie pueden crear vórtices atrás de ellos e incorporar aire.

En medios viscosos los deflectores pueden crear zonas muertas en la superficie y estancar el material delante del deflector (en dirección del flujo). Si se están manejando sólidos pegajosos en la superficie éstos se aglomerarán en los deflectores.

Cuando se emplean rodetes con flujo axial hacia abajo, se emplean deflectores en forma de crucifijo en la base (hay casos donde solo es necesario este tipo). Este consiste en dos platos que se entrecruzan (usualmente en el centro), no deben colocarse directamente en el fondo del tanque para que los sólidos no se depositen.

Un deflector de plato plano en la corriente de salida de un mezclador cuya alimentación es en los costados, puede ayudar a enderezar el flujo y reducir la formación de vórtices por acción del rodete.

Para diseñar un sistema agitado cada componente debe de ser lo suficientemente resistente para soportar las fuerzas del fluido generadas por el rodete.

2. Rodetes Son agitadores de turbinas de una variedad de formas que se emplean en tanques agitados, predominantemente en flujos turbulentos. Para un rodete y geometría de tanque dada, el número de Reynolds de un rodete determina el patrón de flujo en el tanque.

$$Re_T = \frac{D^2 N \rho}{\mu}$$

Ecuación G.2.1

donde,

D= diámetro del rodete

N= Velocidad rotacional

μ = viscosidad del líquido

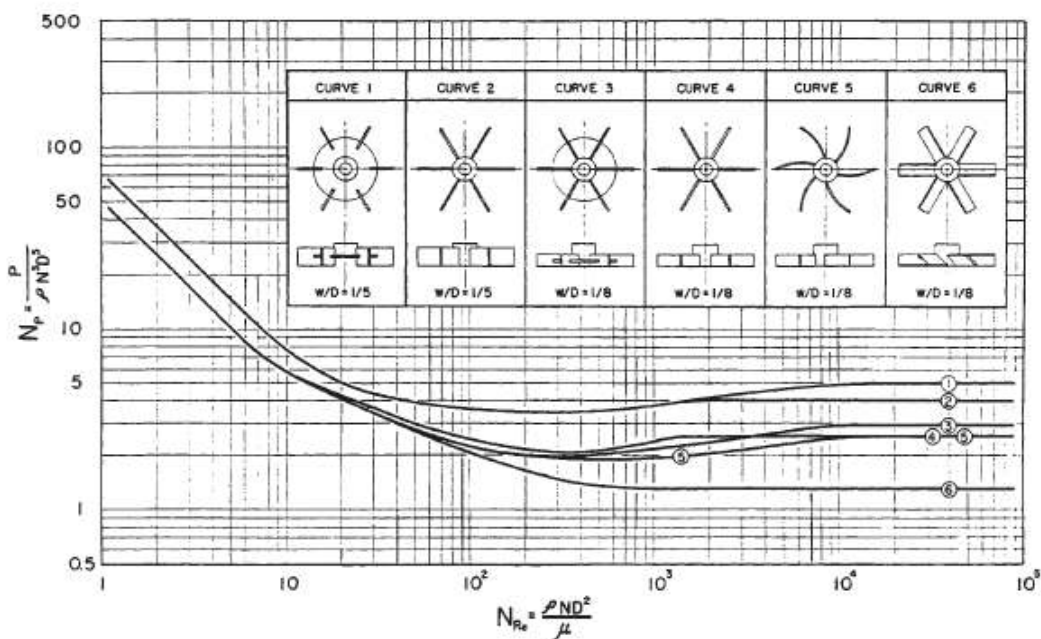
ρ = densidad del líquido

La potencia P trazada por el rodete es adimensional como lo representa el número de Potencia (N_P).

$$N_P = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$$

Ecuación G.2.2

Figura No. 13 Números adimensionales de potencia en tanques agitados



En la Figura no. 13 se muestra el número adimensional de potencia en función del número de Reynolds para un rodete para una configuración típica. La similitud al factor de fricción y el número de Reynolds para un flujo en tubería es significativo. En un flujo laminar, el número de potencia es inversamente proporcional al número de Reynolds, reflejando el dominio de fuerzas viscosas sobre fuerzas de inercia. En flujos turbulentos, donde dominan fuerzas de inercia, el número de potencia es casi constante.

Los rodetes son vistos como dispositivos de bombeo; el flujo volumétrico total, Q , descargado por un rodete. El número de flujo puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$N_Q = \frac{Q}{ND^3}$$

Ecuación G.2.3

Donde N_Q se refiere al número de flujo. El tiempo de mezclado, t_b , es el tiempo de mezclado que se requiere para alcanzar una desviación de concentración estándar máxima de concentración luego de la inyección de un trazador en un tanque agitado.

$$N_b = t_b N$$

Ecuación G.2.4

El número adimensional de bombeo y el tiempo de mezclado son independientes del número de Reynolds bajo condiciones turbulentas. El diseño de equipo de mezclado depende del costo de operación el cual depende principalmente de la potencia, costo, el cual depende del tamaño del agitador y torque. En sistemas altamente viscosos es de preferencia emplear cintas helicoidales, extrusores u otro equipo especializado en lugar de turbinas. (Perry, R., et.al, 1997)

H. Agitadores

1. Agitadores de Rodete Este tipo de agitadores se dividen en:

- Rodetes de Flujo Axial: Estos generan corrientes paralelas al eje del rodete.
- Rodetes de Flujo Radial: Generan corrientes en dirección radial o tangencial.

Los rodetes más usados para líquidos de baja a moderada viscosidad son las hélices, turbinas e rodetes de alta eficiencia en cuanto para líquidos muy viscosos se utilizan rodetes de hélice o agitadores de anclaje.

2. Hélices (Propulsor) Éste es un rodete de flujo axial y alta velocidad. Se emplea para líquidos de baja viscosidad. La dirección de rotación se elige para impulsar el líquido a modo que descienda y las corrientes que salen del rodete continúan a lo largo del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo del tanque. Este tipo de agitadores son eficientes si se emplean en tanques bastante grandes. Son pocas las hélices que superan las 18" de diámetro, si el tanque es bastante profundo pueden colocarse dos o más hélices en el mismo eje, generalmente dirigiendo el líquido en la misma dirección.

3. Turbinas De éstas se conocen de varios tipos, entre las cuales se encuentra la turbina sencilla de palas rectas conocida como turbina de paletas, la cual empuja el líquido en forma radial y tangencial, casi sin movimiento vertical al agitador. Las corrientes generadas se desplazan hacia fuera hasta la pared del tanque y por lo tanto fluyen hacia arriba o abajo. Este funciona a velocidades entre 20-150 rpm.

La turbina de disco posee múltiples palas rectas unidas en un disco horizontal, el cual crea zonas de alta velocidad de corte. Generalmente se emplea si se desea dispersar un gas en un líquido aunque también puede emplearse la turbina de disco de pala cóncava CD-6, cuya única diferencia es como su nombre lo indica: posee palas cóncavas. La turbina de pala inclinada se usa cuando la circulación global es importante.

Por lo general el número de deflectores es 5; el número de palas del agitador varía entre 4 y 16 (generalmente son de 6 u 8). Las proporciones típicas (pueden variar) son:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{H}{D_t} = 1 \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

Ecuación H.3.1

donde,

D_a = Distancia entre el extremo externo de una pala hasta el extremo externo de la opuesta.

J = Ancho del deflector

D_t = Diámetro del tanque

E = Distancia entre el fondo del tanque hasta el medio de las palas.

H = altura del tanque

W = Espesor de las aspas.

L = Largo de las aspas.

4. Agitadores de alta eficiencia Éstos presentan modificaciones en las palas inclinadas a modo de obtenerse un flujo axial más uniforme y por tanto una mejor mezcla. Así mismo este tipo de agitadores tiene como fin el de reducir la potencia requerida. Estos agitadores son muy utilizados para mezclar líquidos de baja a moderada viscosidad y no se recomiendan para líquidos muy viscosos o dispersión de gases.

5. Agitadores para líquidos altamente viscosos Se emplean con líquidos cuyas viscosidades van hasta 50 Pa s. Para viscosidades mayores a 20 Pa s se emplean agitadores de cinta helicoidal. El diámetro de la hélice es muy similar al diámetro interior del tanque garantizando un movimiento del líquido en todas las direcciones del tanque, éstos se han empleado con líquidos de hasta 25000 Pa s. Si se desea una buena agitación al fondo del tanque se emplean agitadores de ancla debido a que no genera flujos verticales, promoviendo buena transferencia de calor hacia o desde la pared del tanque. Para este fin, las anclas y cintas helicoidales se les incorporan raspadores para que remuevan físicamente el líquido desde la pared del tanque.

III. JUSTIFICACIÓN

El proceso de producción de crema lavaplatos en la actualidad involucra la formación del ingrediente activo en un premezclador a base de ácido sulfónico, soda cáustica y agua. Seguido al premezclador se encuentra un mezclador secundario donde se agregan los materiales de relleno, colorante y perfume. Luego de preparada la crema, ésta se desplaza a un tanque de almacenamiento del cual se trasiega hacia la línea de llenado. En esta línea se trabajan cuatro productos que varían en su mayoría, únicamente por el colorante y perfume.

Actualmente al producir, todo el equipo y tubería involucrada desde el mezclador secundario hasta la llenadora se ensucia con crema coloreada y perfumada, lo cual atrasa los cambios de producción pues cada producto emplea distinto colorante y perfume. Con sistema planteado de adición de colorante seguido de la inyección de perfume en dos puntos a lo largo de la tubería que conecta el tanque de almacenamiento con la llenadora, se lograría producir de una forma más eficiente. De modo que trabajando en la mayor parte del trayecto con base blanca se disminuirá el recorrido de crema con color y perfume, logrando el cambio de lotes de producción más rápidamente repercutiendo en una mejora a la productividad de la línea y disminución en el gasto de recursos.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo General

1. Diseñar un sistema de dosificación al final de una línea de producción de crema lavaplatos, donde se dosifique el colorante y posteriormente perfume según el producto en proceso, mejorando la eficiencia de producción.

B. Objetivos Específicos

1. Determinar capacidades de bombas de engranajes, tanques agitados, medidores de flujo másico, PLC y accesorios los cuales constituirán el sistema de post adición.
2. Determinar la incorporación de colorante y perfume en la crema, empleando únicamente un agitador estático y uno dinámico.
3. Hacer más eficiente el proceso de elaboración de crema lavaplatos minimizando tiempos de lavados entre cambios de producción, reduciéndose así la cantidad de fluxería involucrada con producto coloreado y perfumado.
4. Cumplir con las especificaciones de calidad del producto terminado.
5. Realizar un análisis económico del proyecto.

V. PROBLEMA A RESOLVER

En la elaboración de crema lavaplatos con la línea actual, se tienen problemas con el tiempo de cambio al manufacturar otro producto pues esto conlleva altos tiempos de lavado de equipo: mezclador, tanque de almacenamiento y tuberías. El tiempo empleado para limpiar todo el equipo es de aproximadamente 150 minutos, dependiendo el tiempo que se estuvo trabajando con un mismo producto. El mayor tiempo de retraso se debe a la limpieza de incrustaciones que se forman en el tanque de almacenamiento, lo cual implica un gasto de agua para limpieza lo que no sólo repercute en la economía de la planta sino también en la carga de contaminantes desechadas hacia la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa.

VI. RESULTADOS

A. Estudio de Diseño

1. **Tanque de Colorante** El diseño del sistema de adición de colorante incluyó la determinación de las dimensiones del tanque de almacenamiento de la solución de color y del agitador a emplearse para la agitación de la misma.

Tabla No. 1: Dimensiones de tanque de almacenamiento de colorante

Altura (m)	1.00
Diámetro (m)	0.70
Volumen (m³)	0.38 m ³

Tabla No. 2: Especificaciones del agitador

Diámetro de Turbina (m)	0.25
Motor (W)	372.85
Largo del eje (m)	0.75

2. **Bombas Dosificadoras** Para las bombas de dosificación de solución de colorante y perfume se consideró la bomba de engranajes Zenith C-9000-9.0 cc/rev.

Tabla No. 3: Características de las bombas de engranajes para dosificar perfume y colorante

Zenith C-9000-9.0 cc/rev
<ul style="list-style-type: none">- Material de construcción: Acero inoxidable 316- Conexiones: ½” de entrada y salida.- unidad del motor es de 746 W, 1000 rpm, y el controlador de velocidad de corriente alterna posee una capacidad de reducción de velocidad del motor de 20:1, 4-20 mA, trifásico y de 50/60 Hz en la fuente de entrada- Diferencial de presión: 137.895 – 6894.757 kPa (20 – 1000 psi)- Flujos de 3.00E-05 m³/min - 0.009 m³/min- La bomba empleada para el manejo de perfume se diferenciará de la de colorante porque tendrá sellos a prueba de explosión.

3. Medidores de Flujo Másico El sistema de dosificación de la solución colorante en agua y del perfume serán auxiliados por dos medidores de flujo, Endress & Hauser 83F DN (3/8”), de iguales características basados en el sistema de medición de Coriolis.

Tabla No. 4: Medidores de Flujo Másico

Endress & Hauser 83F DN 8	<ul style="list-style-type: none"> - acero inoxidable 316 - Diámetro nominal: 3/8” - Diámetro interno: 0.21” - Salida y entrada: 4-20mA - Caudales mínimo y máximo: 0 – 33.33 kg/min - Incertidumbre en volumen a caudal nominal: 0.48 % - Incertidumbre en masa a caudal nominal solicitado: 0.43 %
--------------------------------------	---

4. Accesorios y Equipo La línea actual consta de un mezclador dinámico y uno estático para la homogenización de crema así como una bomba marca Wilden de diafragma (60 kg/min) para el trasiego desde el tanque de almacenamiento hacia la llenadora. El sistema de adición de colorante y perfume incluirá lo siguiente:

Tabla No. 5: Accesorios y equipo normalizado

Accesorios	Cantidad	Especificaciones
Válvula de Alivio	2	Diámetro de ½”, presión de acción 150 psi
Válvula de cheque	4	1/2” de acero inoxidable.
Válvula de Bola	3	1” acero inoxidable.
Codos	10	Acero inoxidable 1 para sistema de colorante de 1” y 2 para el sistema de recirculación de colorante de ½” 3 de 1” para sist. Dosificación de perfume, 2 de ½” para sist. Recirculación y 2 de ½” en línea después de la bomba.
Clamps	10	1 para el sistema de dosificación de perfume (1”) y 1 para el de recirculación de colorante (1/2”) 1 antes y después de ambos medidores de flujo másico (4). 1 antes y después de la válvula de alivio de ambos sistemas (4)

Accesorios	Cantidad	Especificaciones
Manómetros	2	½", 0 – 300 psi
Tubería	--	5.13 m de tubería de ½" de diámetro 2.05 m de tubería de 1" de diámetro Toda de acero inoxidable 316L, cédula 40.
Reductores	6	4 de 1/2" a 3/8" (medidores de flujo) 2 de 1" a ½" (entrada de las bombas) Acero inoxidable.
Te	5	1 de 1" y 4 de ½". Acero inoxidable.
Sensor de Proximidad	2	Con amplificación para detección de metales.
Columna calibrada	1	Columna de vidrio calibrada de 0.85 cm ³
Medidores de Flujo Másico	2	Endress & Hauser 83F DN8
Bomba	2	Zenith C-9000-9.0 cc/rev
Tanque	1	Acero inoxidable. 1.00 m de alto, 0.70 m de diámetro
Agitadores	1	350- 420 rev/min; turbina de 0.25 m y eje de 0.75 m de largo

5. Prueba a pequeña escala Se realizó una prueba con tanques y bombas a pequeña escala del sistema de dosificación. Para ello se empleó un tanque de 0.005 m³ de perfume el cual se inyectó previo al mezclador dinámico, aplicándosele a una base de crema ya coloreada. Se empleó una bomba de 223.71 W a dosificación constante. El resultado de análisis de la muestra al momento de realizar la corrida fue:

Tabla No. 6: Resultados de análisis en el momento de tomar las muestras

Pentrabilidad	5.9
Humedad	23.8%

Se hicieron análisis de penetrabilidad y humedad durante tres semanas a varias condiciones:

Tabla No. 7: Resultados de análisis realizados

Análisis	Semana 1				Semana 2				Semana 3			
	5°C	TA ¹	43°C	UV	5°C	TA	43°C	UV	5°C	TA	43°C	UV
Penetrabilidad	1.5	4.3	1.8	3.0	1.3	3.0	1.5	2.5	0.5	2.7	0.5	2.4
Humedad									21.88%	23.21%	18.88%	21.24%
Comparación con Patrón de Color	Cumple											
Olor	Cumple											

¹ Se refiere a temperatura ambiente

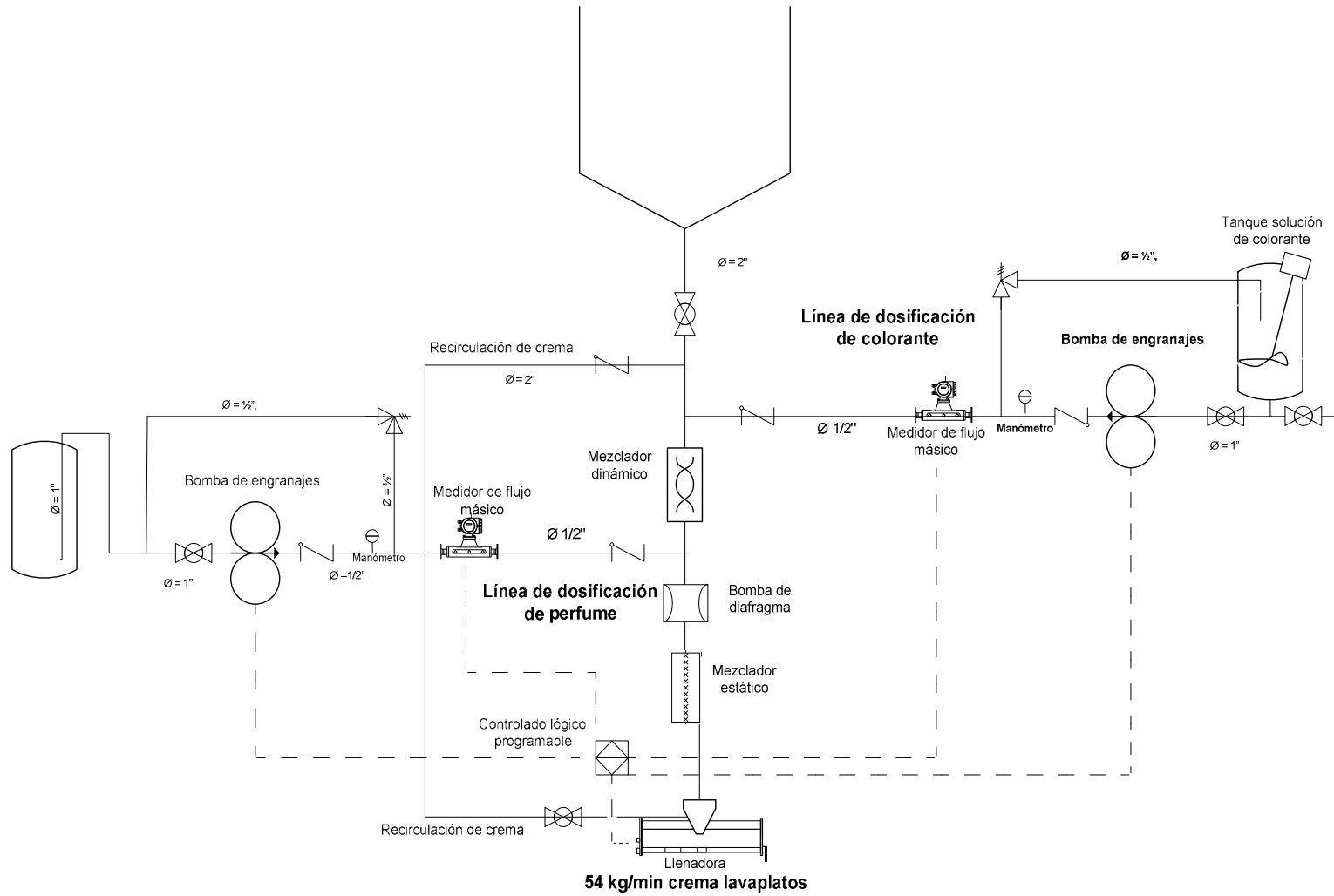


Figura No. 14 Diagrama de instrumentación y proceso

B. Análisis Financiero

La puesta en marcha del sistema de dosificación de perfume y colorante implica realizar una inversión inicial, gastos resumidos en la tabla siguiente:

Tabla No. 8: Inversión inicial en el año 0

Descripción	Monto (Q)
Bombas	125,552.00
Medidores	100,388.40
Automatización	97,576.40
Equipo/tuberías/accesorios/Instalación	80,000.00
Señalización	5,000.00
Capacitación Inicial para el personal	1,000.00
TOTAL INVERSIÓN	409,516.80

Evaluando todos los ingresos y egresos netos en base al sistema actual y el de post adición (consultar Apéndice), se logró desplegar un flujo de caja proyectado en cinco años, tiempo estipulado para recuperar el capital invertido.

Tabla No. 9: Flujo de Caja Proyectado a 5 años

	2006	2007	2008	2009	2010
Ingresos					
Ventas	Q 2,733,672.70	Q 2,774,677.79	Q 2,816,297.96	Q 2,858,542.43	Q 2,901,420.57
Sueldos y Salarios	Q 135,450.00	Q 145,608.75	Q 156,529.41	Q 168,269.11	Q 180,889.30
Prestaciones Laborales	Q 17,161.52	Q 18,448.63	Q 19,832.28	Q 21,319.70	Q 22,918.67
Ahorros en Lavado (Mano de Obra)	Q 15,628.85	Q 16,801.01	Q 18,061.09	Q 19,415.67	Q 20,871.84
Ahorros en Desperdicios	Q 6,738.95	Q 6,840.03	Q 6,942.64	Q 7,046.77	Q 7,152.48
Total Ingresos	Q 2,908,652.02	Q 2,962,376.22	Q 3,017,663.36	Q 3,074,593.68	Q 3,133,252.85
Egresos					
Amortizaciones	Q 81,903.36	Q 81,903.36	Q 81,903.36	Q 81,903.36	Q 81,903.36
Intereses	Q 69,707.61	Q 54,359.15	Q 39,010.68	Q 23,662.22	Q 8,313.75
Energía	- Q 6,015.80	- Q 6,063.93	- Q 6,112.44	- Q 6,161.34	- Q 6,210.63
Costos de Fabricación	Q 2,348,054.55	Q 2,383,275.37	Q 2,419,024.50	Q 2,455,309.87	Q 2,492,139.52
Gastos Generales (Mantenimientos y Otros Gastos Administrativos)	Q 30,000.00	Q 30,900.00	Q 31,827.00	Q 32,781.81	Q 33,765.26
TOTAL	Q 2,523,649.72	Q 2,544,373.95	Q 2,565,653.10	Q 2,587,495.92	Q 2,609,911.26
Gastos No Desembolsables					
Depreciación	Q 80,703.36	Q 80,703.36	Q 80,703.36	Q 80,703.36	Q 80,703.36
Total Egresos	Q 2,604,353.08	Q 2,625,077.31	Q 2,646,356.46	Q 2,668,199.28	Q 2,690,614.62
Utilidad Bruta	Q 304,298.93	Q 337,298.91	Q 371,306.90	Q 406,394.40	Q 442,638.23
Impuestos (ISR = 31 %)	Q 94,332.67	Q 104,562.66	Q 115,105.14	Q 125,982.27	Q 137,217.85
Utilidad Neta	Q 209,966.26	Q 232,736.25	Q 256,201.76	Q 280,412.14	Q 305,420.38
Depreciación (+)	Q 80,703.36	Q 80,703.36	Q 80,703.36	Q 80,703.36	Q 80,703.36

		2006	2007	2008	2009	2010
Inversion	Q409,516.80					
Flujo de Caja Anual	-Q 409,516.80	Q 290,669.62	Q 313,439.61	Q 336,905.12	Q 361,115.50	Q 386,123.74

Tabla No. 10: Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

TMAR	21.00%
TIR	69.58 %

La Tasa Mínima Atractiva de Retorno de la empresa es del 21%, ya que se busca estar dos puntos arriba de la tasa de interés que tiene que pagar debido al financiamiento del proyecto. La Tasa Interna de Retorno se obtuvo por medio de los resultados de flujo de caja para cada uno de los cinco años en los cuales se espera que sea más alta que la Tasa Mínima de Retorno a modo de justificar el proyecto planteado.

El Valor Presente Neto (VPN) determina el valor del proyecto completo planteado a cinco años en el tiempo cero, esto quiere decir que para justificar el proyecto planteado se debe tener un valor presente neto positivo ya que si fuese negativo nunca se recupera el valor de la inversión inicial. Obteniéndose los Valores Presentes Netos a lo largo de los cinco años es evidente la recuperación de la inversión entre el año uno y dos ya que en ese punto existe un cambio de signo. Así mismo se obtuvo el Valor Presente Neto de la ganancia neta en el año cinco.

Tabla No. 11: Valor Presente Neto (VPN)

Año	Ingreso (Q)
1	-169,293.97
2	44,789.50
3	234,963.66
4	403,426.70
5	552,294.12

Tabla No. 12: Situación Económica sobre la Inversión

Número de períodos para la recuperación de la inversión (Año 0 = Período 1)	2.5
---	-----

VII. DISCUSIÓN

El sistema planteado para adición de una solución de colorante y perfume se ideó de forma que se trabajara el mayor tiempo posible una misma variante de crema lavaplatos. La adaptación del sistema se hizo sin mover tubería o equipo alguno, empleando su actual disposición para la inyección en línea de los dos componentes en mención.

En la línea actual de producción se cuenta con un mezclador constituido por un agitador sigma (Vid. Figura no. 7) donde se prepara la crema lavaplatos, la cual es luego vertida en un tanque de almacenamiento. Seguido a este tanque se extiende una tubería a lo largo de la cual se encuentran homogenizadores: un mezclador estático y otro dinámico, así como una bomba de dosificación que bombea la crema hasta la llenadora.

Con el sistema de adición lo que se busca es preparar una base común en componentes, agregando el colorante y el perfume a la crema en el trayecto posterior al tanque de almacenamiento. En esta línea se producen cuatro variantes de productos los cuales difieren en la proporción de sus materiales, colorante y perfume. Por lo anterior se busca tener una mejor eficiencia en línea así como un mayor ingreso a la compañía. El sistema de dosificación tanto para el colorante como para perfume es el siguiente: el colorante a dosificarse a la crema se encuentra en estado sólido, por lo que es necesario disolverlo en agua para su dosificación. Así mismo, las proporciones a agregar a cada variante no son las mismas por lo que esto fue una limitante en la preparación de una solución de igual concentración para todos los colorantes. El sistema de adición de colorante se planteó con un tanque de almacenamiento, un agitador, un medidor de flujo másico, sus respectivas válvulas y tuberías.

El tanque de almacenamiento se diseñó en función de la cantidad de cada colorante necesaria para trabajar 16 horas seguidas una misma variante, tiempo en el cual se cubre la mayoría de ordenes de producción de un producto. En el caso de que se tengan remanentes de solución, se ha contemplado contar con tanques plásticos donde pueda verterse el contenido y almacenarse para una futura producción.

Según el porcentaje requerido de colorante para cada presentación (Vid. Tabla no. 14) y las diluciones de cada colorante (Vid. Tabla no. 15) se concluyeron los volúmenes requeridos de solución para cada producto en un tiempo de 16 horas, a modo que el mayor volumen requerido fuera la base para fijar las condiciones de diseño del tanque siendo éste el del colorante D (0.18 m^3).

Las diluciones se fijaron de modo que los volúmenes requeridos de solución fueran similares entre sí, quedando las dimensiones del tanque bien aprovechadas en la preparación de la solución para cada variante (Vid Tabla no. 16). Como resultado de lo anterior se planteó un tanque en base al colorante D, del cual se

requería la mayor cantidad en el tiempo establecido. Se conluyó de tal modo una altura igual a 1.00 m y un diámetro de 0.70 m, manteniéndose la razón altura – diámetro entre 0.75 y 1.5. Estas medidas fueron obtenidas tras sobredimensionar el tanque un 25% para mantener un factor de seguridad (el diámetro previo a este dimensionamiento fue sujeto a las condiciones de espacio disponibles y la ubicación del agitador). La tubería de descarga del sistema de recirculación en caso de elevación de presión, estará unida por un clamp para fácil mantenimiento y limpieza al tanque de colorante.

Para el tanque de la solución de colorante se designó un agitador posicionado con un ángulo de desfase de 15° del eje vertical, en lugar de colocarse en el centro del tanque. El motivo de esta ubicación se debe principalmente a que el tanque es bastante pequeño y es lo recomendado para tanques con diámetro menor a 1.8 m, evitando así el flujo circulatorio, turbulencia y el uso de deflectores. El agitador será adaptado sobre la tapa del tanque. Así mismo, la solución a agitar tiene bastante fluidez, es básicamente agua por sus bajas concentraciones de solución (5.0, 8.0, 5.0 y 0.7%) y densidad a temperatura ambiente ($1,000 \text{ kg/m}^3$). El motor recomendado para agitar soluciones en tanques menores a 1.8 m de diámetro es de 2200 W, con motor de engranajes entre 350 y 420 rev/min., por lo que se trabajará con un motor de 372.85 W con el cual ya se cuenta. Para el diseño de la turbina del agitador se mantuvo la razón entre el diámetro de ésta y el diámetro del tanque igual a 1/3, relación utilizada en agitadores ubicados a 90° sobre la horizontal, a lo que se obtuvo un diámetro de turbina igual a 0.25 m. En cuanto a la distancia entre el fondo del tanque y la turbina se determinó estableciendo la misma razón anterior entre la variable a encontrar y el diámetro total, obteniéndose una distancia de 0.25 m. El largo del eje se fijó de forma aproximada, sustrayendo de 1.00 m la distancia anterior (0.25 m) y obteniéndose de este modo 0.75 m de largo.

La razón de dosificación del colorante y perfume se basó en la cantidad de solución necesaria a agregar tomando como referencia el flujo máximo de llenado (54 Kg./min.) y concentración de la solución. Empleando los valores mínimos y máximos de flujo de dosificación de los que se iba a disponer (Vid. Tabla no. 19 y 21), se solicitó la recomendación del proveedor. También se hizo necesario recurrir al cambio de presión en la línea, lo cual fue medido con manómetros de glicerina y a la altura a vencerse por la bomba en la dosificación de perfume, pues la línea de inyección de colorante está justamente a la altura de descarga de la bomba.

La bomba dosificadora de la solución de colorante inyectará el colorante luego de la salida del tanque de almacenamiento y previo al mezclador dinámico, a modo de aprovechar la homogenización lograda por este último y el equipo restante en la línea hasta la llenadora (bomba de diafragma, mezclador dinámico); en cambio el perfume será dosificado previo a la bomba de diafragma colocada sobre la línea de recorrido principal, empleándose la bomba y el mezclador estático como medio para homogenizar la crema. Las bombas empleadas tanto para la dosificación de colorante como de perfume son de engranajes con el fin de lograr un flujo constante y suministro uniforme, difiriendo la de perfume con la de colorante en que esta

primera cuenta con sellos a prueba de explosión por la inflamabilidad del material. Las bombas reciprocantes como las de pistón o diafragma producen un flujo que varía en presión y volumen siendo las dosificaciones irregulares. En cuanto a las bombas rotatorias, como las de engranajes de desplazamiento positivo son mucho más precisas, proveen un flujo exacto, uniforme y constante, sin pulsaciones y al mismo tiempo generan la presión necesaria para satisfacer los requerimientos del sistema, sobre las bombas centrífugas destaca su alta precisión para bajos flujos de manejo. Luego de la salida de cada una de las bombas se colocó un sistema de recirculación hacia los tanques de colorante y perfume, cada una con sus respectivas válvulas de seguridad de presión (150 psi), a modo de proteger el equipo y tubería de los excesos de presión provocados por algún problema de taponamiento. Así mismo, en la línea de dosificación del colorante y perfume, se colocó en la descarga de las respectivas bombas una válvula de cheque para que la tubería no quede vacía en el momento de un paro y un manómetro de glicerina para controlar la presión.

El medidor de flujo será el mismo modelo utilizado tanto en el sistema de dosificación de perfume como de colorante y corresponde a un Endress & Hauser 83F DN 8, donde 83 se refiere al modelo del transmisor, F al tipo de sensor y DN 8 al diámetro nominal. Este medidor de flujo permite la medición de flujo másico, así también mediciones de caudal, densidad, temperatura y variables calculadas como concentraciones. El diámetro nominal de este medidor permite medir flujos másicos de 0 a 33.33 kg/min, siendo ésta el rango mínimo ofrecido por los medidores de esta casa matriz. Este rango se ajusta a ambas necesidades de dosificación, además el porcentaje de error es de 0.43 % para un flujo de 0.5 kg/min. Así mismo, este tipo de medidores no tiene problemas con la ubicación cercana de accesorios generadores de turbulencia (válvulas, codos, uniones, etc), siempre que no ocurra cavitación. Por lo anterior en la línea de dosificación tanto de colorante como de perfume (Vid. Figura no. 14) se incluirá una válvula de bola a la salida del tanque, seguido a esto estará la bomba dosificadora, un manómetro para control de presión en la línea y una válvula de cheque por seguridad. Así mismo, previo a la inyección del colorante a la línea central, se colocará una válvula de cheque para evitar que crema fluya hacia la línea de colorante cuando la bomba esté apagada. Las válvulas empleadas no serán para control de flujo, sino se emplearán para facilidad de mantenimiento, las válvulas de cheque ayudarán a detener o ceder el paso del fluido por la tubería.

En cuanto al sistema de dosificación de perfume, se hará uso del tonel en el que el proveedor lo envasa el cual es de 0.21 m³, de esta manera se elimina la necesidad de incorporar un tanque y se colocará una union roscada tipo niple en la tubería de succión de perfume para poder quitar y poner los toneles fácilmente. La entrada de la recirculación en caso de elevación de presión en la línea será posterior a la bomba debido a que en el tonel de perfume no es posible regresarlo por contaminación y porque éste sólo cuenta con dos entradas y si se utilizan ambas se formará vacío y no podrá bombearse el fluido. La valvulería y equipo empleado en el sistema de perfume tiene los mismos principios que el sistema de adición de colorante.

El sistema de automatización de la dosificación del perfume y colorante se enlazará según señales recibidas a un controlador lógico programable o (PLC) provenientes de la llenadora. Las señales en la llenadora serán medidas por un sensor de proximidad inductivo, que enviará su señal (digital 1-0) hacia el PLC el cual estará programado para recopilar los impulsos emitidos por dicho sensor e interpretarlos después de un tiempo establecido para obtener los kilos por minuto de salida de la llenadora. Dichas señales indicarán la capacidad a la cual está trabajando la llenadora, teniendo en cuenta que su máxima capacidad será de 54 kg/min. La llenadora está constituida por dos pistones (capacidad máxima de cada uno es de 27 kg/min), los cuales por medio de impulsos van agregando la cantidad de producto al tarro de empaque, cada impulso es de 0.450 kg. El producto ya coloreado y perfumado, previo a la llenadora, cae en una tolva con dos salidas, cada una hacia su respectivo pistón de llenado. De este modo se tendrá un control sobre la dosificación que deberán agregar las bombas en la línea. Esta tolva tiene una salida para recirculación de material al excederse su capacidad, la cual tiene su entrada de retorno a la línea previo a la dosificación de colorante. Esto no afectará las dosificaciones de perfume y colorante pues estas estarán regidas por lo que va procesando la llenadora.

El PLC recibirá una señal de entrada digital proveniente de la llenadora y enviará por tanto una señal de salida 4-20 mA hacia las bombas dosificadoras según sea la dosificación establecida para el flujo de salida en el proceso. Dichas dosificaciones estarán configuradas en el sistema y en ellas se registrarán las señales de salida del PLC, de tal modo la señal de salida será interpretada y enviada hacia cada una de las dos bombas. A la salida de cada bomba estarán colocados los medidores de flujo másico, los cuales medirán el flujo y esta señal será reportada hacia el PLC quien establecerá la relación de dosificación de colorante o perfume según la señal de entrada y realizará los ajustes pertinentes para la adecuada dosificación en todo momento.

En el caso de un inicio de producción en el que la tubería esté vacía, no se recibirán señales por parte de la llenadora hasta que se llene la tubería y empiece a salir crema, con el inconveniente de que ésta será sin perfume ni colorante. Para evitar el punto de obtener producto no apto para empaquetar, se realizará una programación en el PLC a modo que al reiniciar el equipo y empezar con una nueva producción se dosifique de manera constante perfume y colorante por un minuto y medio (tiempo para llenar de crema la tubería entre el tanque de almacenamiento y la llenadora), en función del flujo dado por la bomba de diafragma la cual, luego de calibrarla, se determinó que entrega un flujo de 60 kg/min (las dosificaciones se establecerán luego de afinar las bombas dosificadoras de colorante y perfume). La llenadora estará apagada en este punto y el producto se mantendrá en recirculación por dos minutos más para lograr la homogenización de color y perfume con ayuda de la bomba de desplazamiento positivo (diafragma) ubicada en la red principal de la línea. La llenadora se encenderá al culminar el tiempo de recirculación y la dosificación de colorante y perfume empezará a ser determinada por los impulsos enviados por el sensor de proximidad, trabajándose con el sistema automatizado.

Para determinar la funcionalidad del proyecto se realizó una prueba piloto previo al diseño final, donde se realizaron cargas de crema con colorante y se adicionó el perfume previo al mezclador dinámico (punto donde se estableció el ingreso de colorante en el diseño planteado). Las muestras obtenidas se sometieron a análisis, cumpliéndose con las características deseadas para su mercado. Así se probó la homogenización del perfume posterior a la adición de colorante, que en este caso fue favorable. Cabe mencionar que se tuvieron limitaciones en esta prueba pues no fue posible realizar la dosificación tal y como se planteó el diseño, así mismo la dosificación de perfume fue constante pues no existió sensor alguno que emitiera señales a la bomba empleada, ésta era de 186.4 W. Sin embargo, agregó un poco más de perfume para ver su homogenización y todos los resultados fueron satisfactorios.

Tras verificar la viabilidad técnica del proyecto, fue necesario verificar la viabilidad financiera. Para evaluar la rentabilidad del proyecto se tomaron en cuenta tanto la reducción como aumento de costos, llevados a un estudio de cinco años (tiempo máximo en el que la empresa busca recuperar su inversión).

El sistema de adición implica una reducción de personal en la línea, pues en el sistema actual se requieren de tres operadores por turno debido a la etapa de lavado del equipo y tubería en cada cambio de producción, así mismo acompañado de los ahorros anteriores también se ve implicado una reducción en el tiempo de lavado, de 150 min. disminuye a 90 min., ya que en el sistema planteado se reduce el trayecto de limpieza debido a que únicamente el recorrido después del tanque de almacenamiento estará impregnado con colorante y perfume. Además, la base para todas las presentaciones es la misma en el tipo de materiales. Esta disminución en el trayecto a lavar implica la necesidad de contar únicamente con dos operadores para el proceso de limpieza y un menor tiempo perdido en limpieza, este ahorro en los gastos de limpieza implica una ganancia para la empresa de Q 20,871.84 en el año 5, incrementando 7.5% al año (incremento anual salarial de un operador) como puede observarse en la Tabla no. 27.

El ahorro de dinero por utilización de menos personal durante la etapa de lavado también puede agregársele un ahorro en la etapa operativa del proceso. La necesidad de contar con tres personas en línea era por el método de lavado utilizado y por el tramo donde debía removerse crema coloreada lo cual se minimiza con esta nueva modalidad en el proceso. Emplear dos personas ahora para la operación de la línea trae consigo un beneficio a los egresos de la empresa representados en la Tabla no. 28.

Otro punto que se consideró fue la reducción de material perdido por adherencia en las tuberías y desechado en el momento de limpiar la línea. Debido a que el tanque de almacenamiento no se lavará implica no solo un menor tiempo empleado en limpieza sino en la cantidad adherida en el recorrido hasta la llenadora. Con el sistema planteado únicamente se tendrá que lavar la línea de tuberías, bombas, homogenizadores y la llenadora. En este trayecto quedan acumulados aproximadamente 12 kg de crema previo a cada cambio, valor estimado según lo acumulado actualmente del tanque hacia la llenadora. El

tanque implica una acumulación de 25 kg de crema por lo que este ahorro en crema perdida (13 kg/cambio) se ve reflejado en los valores de la Tabla no. 32. El costo actual de la crema es de Q 2.66 mostrando aumentos de 1.5 % anualmente.

En el sistema se verá implicado mayor equipo a la línea lo cual se tiene un estimado de aumento de costos en lo que respecta al consumo de energía eléctrica (Vid. Tabla no. 33), una disminución de gastos de agua para limpieza también se verá implicado por la reducción del tramo a limpiar. El costo de agua tiene tasa preferencial debido a un convenio entre la planta y la empresa de agua. A lo anterior se agregan los costos de mantenimiento, los cuales aumentarán 2% anualmente y cada dos años se brindará un mantenimiento de mayor costo, para lo que se tiene contemplado un 20% extra. (Vid. Tablas no. 34 y 35).

Las ventas anuales de crema lavaplatos pueden ampliarse en las Tablas no. 36 y 37. Este flujo de dinero se estableció en función de la cantidad de tarros vendidos al cliente el cual se ve en un claro aumento debido a la disminución de tiempo perdido en lavados convertido en tiempo productivo y la disminución de crema perdida entre cada cambio de producción, convirtiéndose en producto terminado. Este aumento de producción tiene como consecuencia un mayor ingreso para la empresa. En la Tabla no. 37 puede observarse que el precio por unidad de producto para el cliente se disminuyó Q0.07 del costo actual (Q4.50 anteriormente y ahora Q4.43), esto se hizo con la intención de demostrar que disminuyendo el precio puede obtenerse un retorno de la inversión en un tiempo prudente como se menciona más adelante, y a la vez la empresa congracia con el cliente, brindándole el mismo producto a un mejor precio y un buen cumplimiento en tiempos de entrega. De haberse asumido el costo actual (Vid. Tabla no. 36) es evidente que la recuperación se hubiese logrado en un tiempo menor al que se tiene contemplado con el precio propuesto, lo cual lo demuestra el análisis de valor presente neto presentado a continuación.

La inversión inicial del proyecto es de Q409,516.80 para los cuales la empresa lo costeará realizando un financiamiento bancario a una tasa de interés del 19% sobre saldos a modo que a lo largo que transcurre el tiempo el pago de intereses vaya disminuyendo. Este análisis se extendió a los cinco años propuestos para recuperar la inversión, tiempo en el cual también se estipula pagar la deuda adquirida. Así el monto de pago será el pago a capital y valor de interés sobre el saldo vencido, para lo cual se tiene un pago de intereses sobre el préstamo de Q195,053.41 en cinco años.

Con todo el análisis previo se pudo extender un flujo de caja (Vid. Tabla no. 9) proyectado en cinco años, donde se puede visualizar las ganancias netas obtenidas. La Tasa Mínima de Retorno fijada fue del 21% pues la empresa busca alcanzar como mínimo el 2% sobre la tasa de interés impuesta sobre el préstamo realizado. La Tasa Interna de Retorno obtenida en cinco años es de 70%, lo cual indica la rentabilidad del proyecto con un 70% de ganancias obtenidas en el período de estudio. Para evaluar la recuperación del capital invertido en el año cero se trabajó con el valor presente neto, para lo cual se

trajeron los cinco años de estudio al año actual mostrando una índice alto de ganancia, así mismo puede visualizarse que la inversión inicial será recuperada entre el año 1 y 2, es decir en un año y medio luego de realizada la inversión (el número de períodos es de 2.5, siendo el año cero el período 1), por lo que el proyecto se paga rápido generando ganancias elevadas.

VIII. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados se concluyen los siguientes puntos:

A. El diseño del sistema de adición está basado en la simple incorporación de dos bombas de engranajes para dosificar colorante y perfume, un tanque para preparación y almacenamiento de solución de colorante con su respectivo agitador, dos medidores de flujo másico para cada sistema de post adición, un controlador lógico programable, tubería y accesorios.

B. La incorporación del colorante y perfume en la crema, agregados a lo largo de la línea, cumple con las especificaciones de homogenización, color, olor, humedad y penetrabilidad requeridas. De tal modo se cumple con los requerimientos de calidad exigidos por la empresa.

C. El proceso planteado muestra su mayor aumento de eficiencia en producción debido a la reducción de material acumulado en las tuberías y equipo así como en la disminución de tiempo en los lavados realizados entre cambios de producción.

D. El proyecto planteado es económicamente viable, con una tasa interna de retorno de 69.58% y un tiempo de recuperación de la inversión de año y medio.

IX. RECOMENDACIONES

- A. Si la demanda aumenta, puede incrementarse la capacidad del mezclador de la base común de la crema lavaplatos, del tanque de almacenamiento, colocar una bomba de diafragma de mayor capacidad (trasiego entre el tanque de almacenamiento y llenadora) y colocar otra llenadora lo cual sería suficiente para aumentar la capacidad de producción.
- B. Desarrollar un sistema de control de calidad para evaluar el producto en proceso.
- C. Realizar un análisis financiero luego de instalado el sistema de adición.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Calkin, R. y Stephan J. 1994. *Perfumery: Practice and Principles*. EE.UU, John Wiley & Sons.
- Caroli, E. 1997. *Válvulas: Instrumentación y Control*. [En línea].
<<http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml#FLUJO>> [consulta: 24 de junio de 2005]
- Creus, A. 2001. *XVII Congreso Nacional De Ingeniería De Proyectos: Convenios De Investigación Con Firmas Externas A La Universidad*. [en línea]. Barcelona,
<<http://www.unizar.es/aeipro/finder/INGENIERIA%20DE%20PRODUCTOS/BA01.htm>>
[consulta: 15 de junio de 2005]
- De Notta, R. 2004. *Introducción A La Reología*. [en línea]. Argentina.
<<http://www.sater.org.ar/Art.%20de%20De%20Notta.htm>> [consulta: 25 de junio de 2005]
- Dishpastes: Formulation and Manufacture*. 1990. EE.UU, Corporate R&D Technical Information Letter.
- Endress & Hauser. 2004. *Technical Information Proline Promass 80/83 FM*.
- Koflo. 2002. *Static Mixers From Static Mixer Experts*. [en línea]. <<http://www.koflo.com/#>>
[consulta: 19 de junio de 2005]
- Koch-Glitsch, Inc. 2002. [en línea]. <http://www.koch-glitsch.com/koch/product_brochures/KGP.pdf>
[consulta: 19 de junio de 2005]
- Morán, M., Emma R. 2005. *Colorantes Y Pigmentos*. [en línea]. España.
<<http://www.quimica.urv.es/~w3siiq/DALUMNES/98/siiq29/>> [consulta: 22 de junio de 2005]
- McCabe, W. et. al. 2002. *Operaciones Unitarias En Ingeniería Química*. 6ta edición. México DF, McGraw-Hill.

- Navascués, I. y Francisco H. 2002. *Operaciones Farmacéuticas con los Comprimidos (Mezcla, Granulación, Compresión)*. [en línea]. Panacea Vol. 3, No. 8, <<http://www.medtrad.org/panacea/IndiceGeneral/n8-NavascuesHernandez.pdf>> [consulta: 15 de julio de 2005]
- Naqvi, M. 2005. *Flojet: Motionless Mixers: Can They Work In Your Application?* [en línea]. <<http://www.flowcontrolnetwork.com/PastIssues/aug2000/2.asp>> [consulta: 19 de julio de 2005]
- Perry, R. et. al.. 1997. *Perry'S Chemical Engineer's Handbook*. 7a edición. EE.UU, McGraw-Hill.
- Post Mixing Optimization and Solutions. 2005. *Baffles*. [en línea]. <<http://www.postmixing.com/mixing%20forum/baffles/baffles.htm>> [consulta: 19 de julio de 2005]
- Universidad de Antioquia. 2004. *Equipos*. Colombia. [en línea]. <http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/03/03_equipos.html> [consulta: 10 de julio de 2005]
- Visser, J., et. al., *Computational Fluid Dynamics At Rug:Cfd In A Static Mixer*, University of Groningen: Department of Chemical Engineering, The Netherlands. <<http://www.math.rug.nl/~veldman/menger/menger.html>> [consulta: 19 de junio de 2005]

XI. APENDICE

Tabla No. 13: Datos generales

Flujo máximo de salida (en la llenadora de la línea)	54 kg/min
Peso de cada carga	750 kg
Gravedad específica de solución colorante-agua	1.00

El diseño del tanque de colorante se hizo en función de cuatro colorantes respectivos a cada una de las variantes producidas en la línea de crema lavaplatos.

Tabla No. 14: Porcentaje de colorante por carga

Colorante	%
A	0.0150
B	0.0250
C	0.0150
D	0.0024

Para el proceso, debido al estado sólido del colorante, para su dosificación es necesaria la dilución de éste en agua. Estas diluciones se fijaron de la siguiente manera:

Tabla No. 15: Concentración de solución de colorante

Colorante	Concentración (% m/m)
A	5.0
B	8.0
C	5.0
D	0.7

Se determinó la cantidad de agua necesaria para preparar una solución al 5.0 %. El resto de colorantes se trabajaron de la misma manera, variando el contenido de colorante de cada una:

$$\text{kg de colorante en una carga de 750 kg} = \text{tamaño de carga} \times \frac{\text{porcentaje de colorante}}{100}$$

$$\text{kg de colorante en una carga de 750 kg} = 750 \text{ kg} \times 0.05$$

$$\text{kg de colorante en una carga de 750 kg} = 0.11 \text{ kg de colorante}$$

Con la cantidad de colorante a dosificarse por carga y el porcentaje a diluir, en este caso 5.0 %, se obtuvo la cantidad de agua necesaria para llegar a la concentración final de solución:

$$\% \text{ solución} = \frac{\text{kg colorante}}{\text{kg colorante} + \text{kg solución}}$$

$$0.05 = \frac{0.1125 \text{ kg colorante}}{0.1125 \text{ kg colorante} + \text{kg solución}}$$

$$\text{kg de solución} = 2.14 \text{ kg}$$

Con la cantidad de colorante y agua necesaria para preparar la solución, se harán:

$$\text{kg totales de solución} = 2.14 \text{ kg de agua} + 0.11 \text{ kg de colorante}$$

$$\text{kg totales de solución} = 2.25 \text{ kg de solución de colorante}$$

Tabla No. 16: Cantidad de solución por carga de crema lavaplatos

Colorante	kg de Colorante	kg de Agua	kg de solución
A	0.11	2.14	2.25
B	0.19	2.16	2.34
C	0.11	2.14	2.25
D	0.02	2.55	2.57

El tiempo de llenado, común en la producción de las cuatro variantes, se determinó basado en el flujo de salida de la línea:

$$750 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ min}}{54 \text{ kg}} = 13.89 \text{ min}$$

El sistema se diseñó para trabajar 16 h continuas, produciéndose la misma variante por tal espacio de tiempo, en el cual la producción es de 70 cargas de base blanca y sin perfume. Con esta información fue posible determinar la cantidad de colorante necesaria para trabajar en el tiempo fijado.

$$\text{kg de solución} = \frac{2.25 \text{ kg de solución}}{\text{carga}} \times 70 \text{ cargas}$$

$$\text{kg de solución} = 157.5 \text{ kg}$$

lo cual convertido en volumen:

$$157.5 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}} = 0.1575 \text{ m}^3$$

Tabla No. 17: Colorante necesario en 16 horas

Colorante	kg de solución a dosificar en 16 horas continuas	Volumen de solución a dosificar en 16 horas (m³)
A	157.50	0.1575
B	164.06	0.1641
C	157.50	0.1575
D	180.00	0.1800

Con el volumen necesario para dosificar la solución de colorante-perfume en el tiempo de trabajo establecido, se dimensionó el tanque, cuidando mantener una razón altura/diámetro entre 0.75 – 1.5 y una disposición del agitador de 15° inclinado de la vertical.

$$\text{altura del tanque} = \frac{\text{volumen}}{\pi * (\text{radio del tanque})^2}$$

Para lo anterior, se estableció un radio igual a 0.27 m (diámetro = 0.54 m):

$$\text{altura del tanque} = \frac{0.1575 \text{ m}^3}{\pi \times (0.27 \text{ m})^2}$$

$$\text{altura del tanque} = 0.69 \text{ m}$$

Tabla No. 18: Alturas requeridas para volúmenes necesarios

Colorante	Altura del tanque (m)	Diámetro (m)
A	0.69	0.54
B	0.72	0.54
C	0.69	0.54
D	0.79	0.54

De estos resultados se tomaron los obtenidos para la solución del colorante D, por ser el que más requiere de altura en el tanque. Con la altura máxima y el diámetro fijado se dimensionó el tanque, agregándose un 25 % extra por factor de seguridad.

$$0.79 \text{ m} + 0.25 \times (0.79 \text{ m}) = 0.98 \text{ m} \approx 1.00 \text{ m}$$

$$0.54 \text{ m} + 0.25 \times (0.54 \text{ m}) = 0.68 \text{ m} \approx 0.70 \text{ m}$$

$$\frac{\text{altura del tanque}}{\text{diámetro del tanque}} = \frac{1.00 \text{ m}}{0.70 \text{ m}} = 1.43$$

De este modo, el tanque de almacenamiento será cerrado y contendrá una columna calibrada para determinar la altura de agua a adicionarse según el colorante a dosificar. El flujo de dosificación de la solución de colorante se estableció como

$$\frac{54 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times 0.00015}{0.05} = 0.162 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}} = 1.620\text{E-}4 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Tabla No. 19: Flujos de dosificación de colorante

Colorante	kg/min	m ³ /min
A	0.162	1.62E-04
B	0.168	1.69E-04
C	0.162	1.62E-04
D	0.185	1.85E-04

Para la determinación del diámetro de la turbina del agitador se empleó una relación entre diámetro de ésta y del tanque igual a 1/3, por tanto:

$$D = \frac{1}{3} \times 0.7 \text{ m} = 0.23 \text{ m} \approx 0.25 \text{ m}$$

En cuanto al diámetro del agitador se mantuvo la razón de 1/3 entre la distancia del inferior del tanque hasta la propela y el diámetro del tanque, así:

Distancia entre el fondo del tanque y la turbina = $\frac{1}{3}(0.70\text{m}) = 0.23\text{m} \approx 0.25\text{m}$ de altura

El largo del eje se calculó de manera aproximada, sustrayendo de la altura total del tanque, la altura entre el fondo y la turbina:

$$1.00\text{ m} - 0.25\text{ m} = 0.75\text{ m}$$

Para diseñar el sistema de dosificación de perfume se tomaron los porcentajes teóricos para las diversas variantes, lo cual se resumen en la siguiente tabla:

Tabla No. 20: Porcentaje de perfume

Perfumes	%
A'	0.17
B'	0.35
C'	0.30
D'	0.24

La dosificación del perfume es entonces obtenida:

$$54 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{0.17}{100} = 0.092 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{850 \text{ kg}} = 1.08\text{E-}04 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Tabla No. 21: Flujos de dosificación de perfume

Perfume	Kg/min	m ³ /min
A'	0.092	1.08E-04
B'	0.189	2.22E-04
C'	0.162	1.91E-04
D'	0.130	1.52E-04

Como tanque de almacenamiento se empleará el tonel de perfume en el que viene envasado, este será de 0.21 m³.

Las bombas se dimensionaron con ayuda del proveedor de las mismas (Zenith). Estas se solicitaron en base a las condiciones de los fluidos a manejar.

Tabla No. 22: Variables para dimensionamiento de bombas

Variables	Solución de Colorante	Perfume
Flujo másico (kg/min)	0.162 – 0.185	0.092 - 0.189
Presión de Entrada	Atmosférica	Atmosférica
Presión de Descarga (kPa)	551.58 (80 psi) – 827.37 (120psi)	551.58 (80 psi) – 827.37 (120psi)
Tempeartura de Operación (°C)	30 – 40	30 – 40
Viscosidad (Pa s)	0.1	0.1
Altura a vencer la bomba (m)	0	0.50

Los medidores de flujo másico se obtuvieron a partir del programa de dimensionamiento del proveedor (Endress & Hauser). Para ello se empleó la siguiente información, considerándose la opción de emplear el mismo modelo para ambas situaciones por su similitud en las características de los fluidos:

Tabla No. 23: Variables para dimensionamiento de medidores de flujo másico

Variables	Solución de Colorante	Perfume
Flujo másico (kg/min)	0.162 – 0.185	0.092 - 0.189
Tempeartura de Operación (°C)	30 – 40	30 – 40
Viscosidad (Pa s)	0.1	0.1

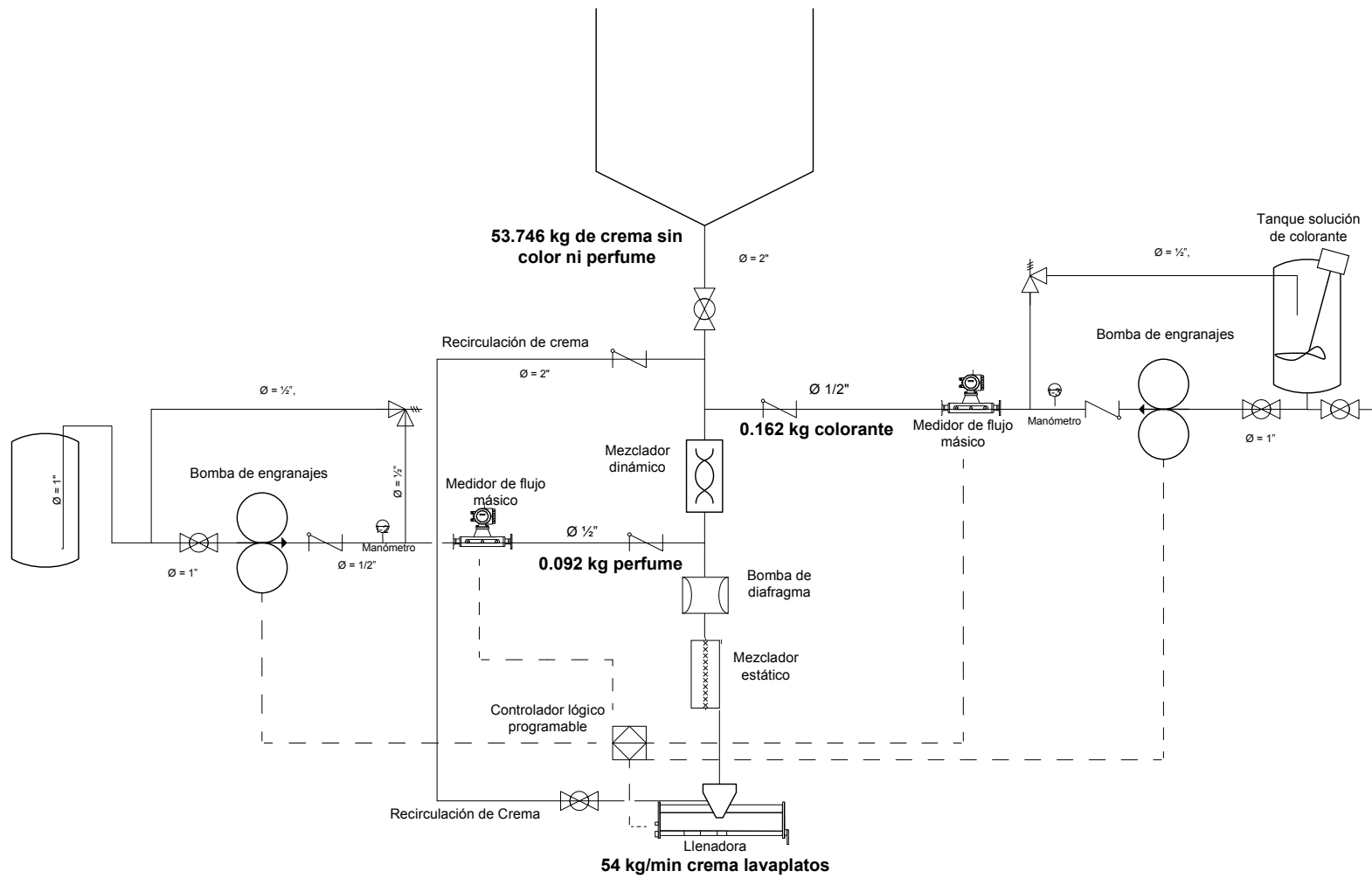


Figura No. 15: Balance de masa del colorante A y perfume A'

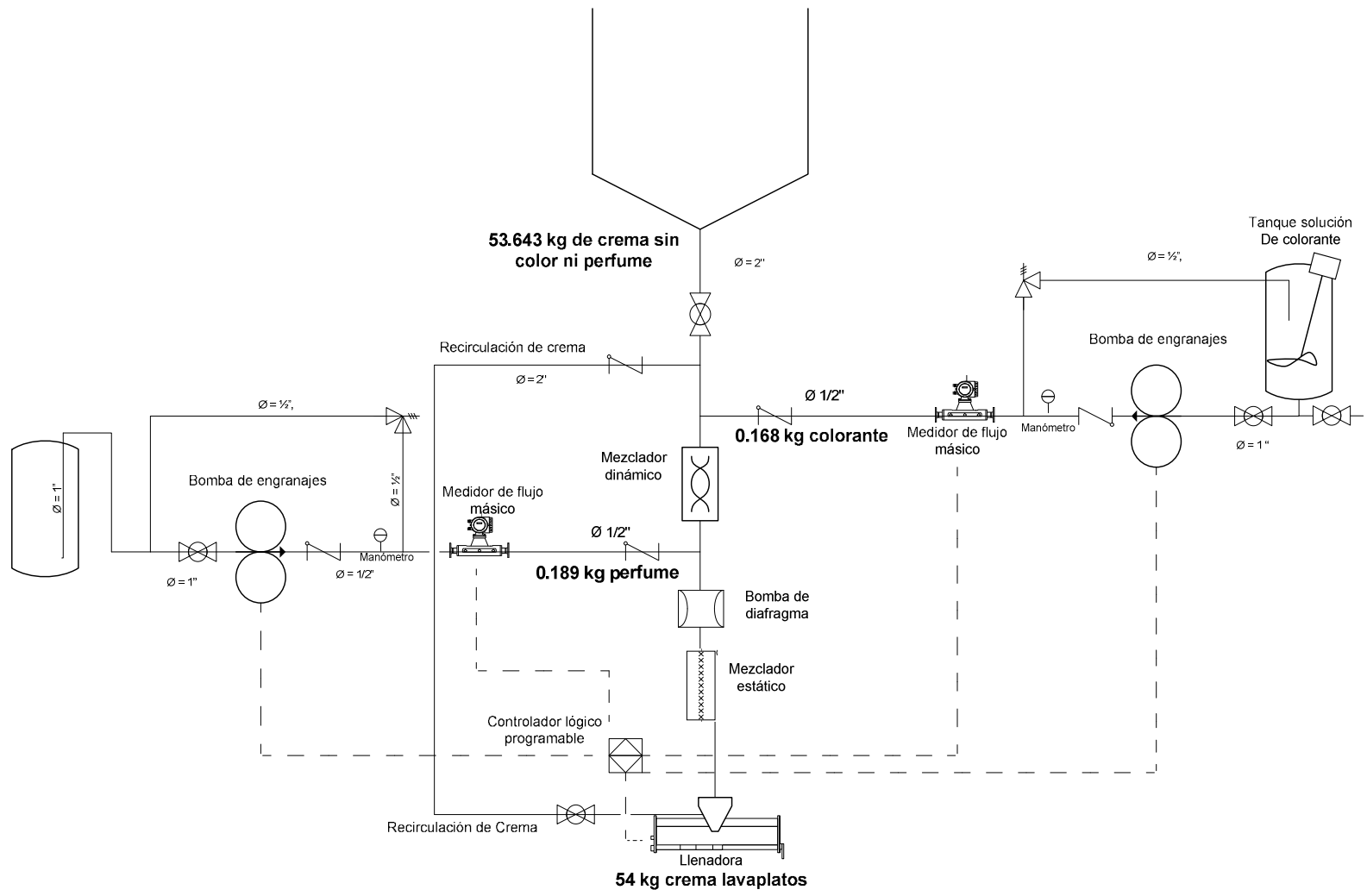


Figura No. 16: Balance de masa del colorante B y perfume B'

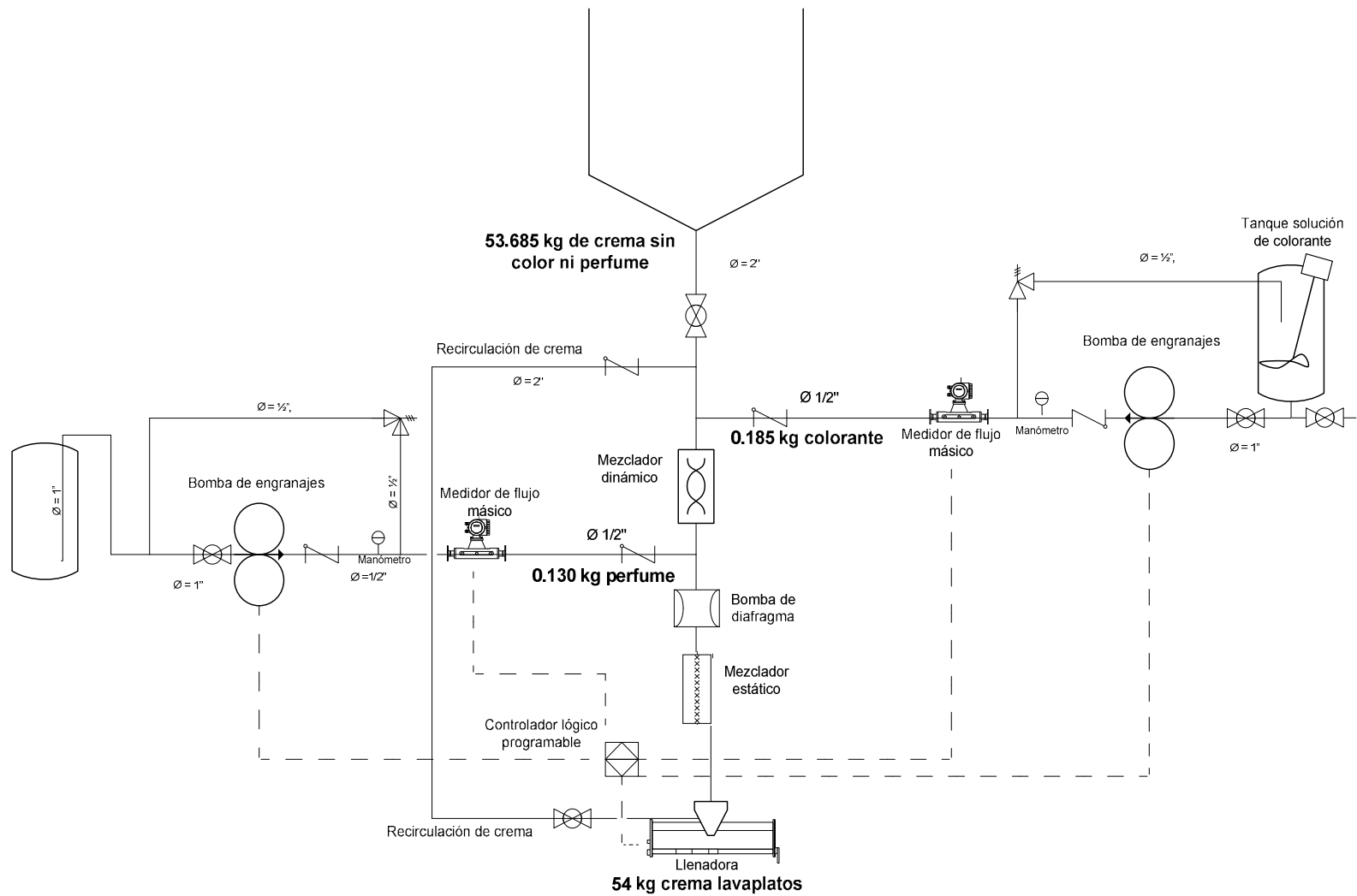


Figura No. 18: Balance de masa del colorante D y perfume D'

El análisis financiero realizado incluyó la consideración de los costos de mano de obra tanto en la situación actual como en la situación con el sistema de post adición implementado; costos por desperdicio de crema lavaplatos debido a la acumulación en línea a la hora de realizar un cambio de producto; costos de energía eléctrica, agua y mantenimiento.

Tabla No. 24: Datos base en el sistema actual y en el sistema de post adición

SITUACIÓN ACTUAL

SISTEMA DE ADICIÓN

<u>Descripción</u>	<u>Datos</u>
Numero turnos productivos en el día	3
Número de operadores (3 turnos)	9
Numero de operadores que participan en el lavado	3
Tiempo de lavado (para cambios, en minutos)	150
Salario mensual del operador	Q 3,500.00
Salario del operador diario (26 días de trabajo al mes)	Q 134.615
Salario del operador por hora (Turno de 8 horas)	Q 16.827
Salario del operador por minuto	Q 0.280
Número de cambios (lavados) a la semana	4
Semanas que componen el mes	4
Meses en el año	12

<u>Descripción</u>	<u>Datos</u>
Numero turnos productivos en el día	3
Número de operadores (3 turnos)	6
Numero de operadores que participan en el lavado	2
Tiempo de lavado (para cambios, en minutos)	90
Salario mensual del operador	Q 3,500.00
Salario del operador diario (26 días de trabajo al mes)	Q 134.615
Salario del operador por hora (Turno de 8 horas)	Q 16.827
Salario del operador por minuto	Q 0.280
Número de cambios (lavados) a la semana	4
Semanas que componen el mes	4
Meses en el año	12

El costo de mano de obra empleada en el lavado de la línea previo a realizar cualquier cambio de producción se basó en los datos de la tabla no. 8, así mismo se consideró un incremento salarial del 7.5% anual. Los resultados obtenidos se observan en las tablas no. 9 y 10 respectivas para el sistema actual de fabricación y el planteado.

Tabla No. 25: Costos anuales de mano de obra para lavado, situación actual

Año	Salario Mensual del Operador (Q)	Salario del Operador por minuto (Q)	Tiempo de Lavado	Número de operadores para el lavado	Número de semanas en el mes	Número de cambios a la semana	Costo Total Mensual por lavado (Q)	Costo Total Anual por Lavado (Q)
0	3,500.00	0.2804	150	3	4	4	2,019.23	24,230.77
1	3,762.50	0.3015	150	3	4	4	2,170.67	26,048.08
2	4,044.69	0.3241	150	3	4	4	2,333.47	28,001.68
3	4,348.04	0.3484	150	3	4	4	2,508.48	30,101.81
4	4,674.14	0.3745	150	3	4	4	2,696.62	32,359.44
5	5,024.70	0.4026	150	3	4	4	2,898.87	34,786.40

Tabla No. 26: Costos anuales de mano de obra para lavado, situación actual

Año	Salario Mensual del Operador (Q)	Salario del Operador por minuto (Q)	Tiempo de Lavado	Número de operadores para el lavado	Número de semanas en el mes	Número de cambios a la semana	Costo Total Mensual por lavado (Q)	Costo Total Anual por Lavado (Q)
0								
1	3,762.50	0.3015	90	2	4	4	868.27	10,419.23
2	4,044.69	0.3241	90	2	4	4	933.39	11,200.67
3	4,348.04	0.3484	90	2	4	4	1,003.39	12,040.72
4	4,674.14	0.3745	90	2	4	4	1,078.65	12,943.78
5	5,024.70	0.4026	90	2	4	4	1,159.55	13,914.56

A continuación se evidencian los ahorros obtenidos tanto por reducción en el tiempo de lavado y de personal.

Tabla No. 27: Ahorros en mano de obra para el lavado con el sistema de adición

Año	Situación Actual (Q)	Sistema Post-Adición (Q)	Ahorros (Q)
0	24,230.77		
1	26,048.08	10,419.23	15,628.85
2	28,001.68	11,200.67	16,801.01
3	30,101.81	12,040.72	18,061.09
4	32,359.44	12,943.78	19,415.67
5	34,786.40	13,914.56	20,871.84

Tabla No. 28: Ahorros en mano de obra debido a la reducción de personal con el sistema de post-adición

Año	Turnos productivos	Operadores Situación Actual	Operadores Sistema Post-Adición	Salario de los Operadores Mensual (Q)	Costo Mano de Obra Anual Situación Actual (Q)	Costo Mano de Obra Anual Sistema Post-Adición (Q)	Ahorros (Q)
0							
1	3	9	6	3,762.50	406,350.00	270,900.00	135,450.00
2	3	9	6	4,044.69	436,826.25	291,217.50	145,608.75
3	3	9	6	4,348.04	469,588.22	313,058.81	156,529.41
4	3	9	6	4,674.14	504,807.34	336,538.22	168,269.11
5	3	9	6	5,024.70	542,667.89	361,778.59	180,889.30

Cada cambio de producción implica un lavado de todo el equipo y tubería involucrado en la producción, perdiéndose kilos de crema lavaplatos debido a su adherencia en éstos. Debido a la menor acumulación de crema con el nuevo sistema de post adición se obtendrán los resultados siguientes:

Tabla No. 29: Kilogramos de desperdicio de crema lavaplatos al momento del lavado

Año	Situación Actual (kg/ cambio)	Sistema Post-Adición (kg/ cambio)	Cambios por semana	Costo del kilogramo de crema lavaplatos (Q)
0	25			2.6600
1	25	12	4	2.6999
2	25	12	4	2.7404
3	25	12	4	2.7815
4	25	12	4	2.8232
5	25	12	4	2.8656

El costo del kilogramo de crema lavaplatos aumenta en promedio un 1.5 % anual.

Tabla No. 30: Kilogramos y costos de desperdicios situación actual

Año	Kilogramos de desperdicio en lavado	Cambios en la Semana	Kilos de Desperdicio Semanal	Kilos de Desperdicio Mensual	Kilos de Desperdicios Anual	Costo del Kilogramo de Crema (Q)	Costo Total Anual de Desperdicio (Q)
0	25	4	100	400	4,800	2.6600	12,768.00
1	25	4	100	400	4,800	2.6999	12,959.52
2	25	4	100	400	4,800	2.7404	13,153.91
3	25	4	100	400	4,800	2.7815	13,351.22
4	25	4	100	400	4,800	2.8232	13,551.49
5	25	4	100	400	4,800	2.8656	13,754.76

Tabla No. 31: Kilogramos y costos de desperdicios sistema de adición

Año	Kilogramos de desperdicio en lavado	Cambios en la Semana	Kilos de Desperdicio Semanal	Kilos de Desperdicio Mensual	Kilos de Desperdicios Anual	Costo del Kilogramo de Crema (Q)	Costo Total Anual de Desperdicio (Q)
0							
1	12	4	48	192	2,304	2.6999	6,220.57
2	12	4	48	192	2,304	2.7404	6,313.88
3	12	4	48	192	2,304	2.7815	6,408.59
4	12	4	48	192	2,304	2.8232	6,504.72
5	12	4	48	192	2,304	2.8656	6,602.29

Tabla No. 32: Ahorros en costos de desperdicios debido al sistema de adición

Año	Situación Actual (Q)	Sistema Post-Adición (Q)	Ahorros (Q)
0			
1	12,959.52	6,220.57	6,738.95
2	13,153.91	6,313.88	6,840.03
3	13,351.22	6,408.59	6,942.64
4	13,551.49	6,504.72	7,046.77
5	13,754.76	6,602.29	7,152.48

Debido a la introducción de nuevo equipo en la línea implicarán mayores consumos de energía eléctrica. Los costos de energía se tomaron con un incremento anual de 0.8 %.

Tabla No. 33: Costos de energía eléctrica durante el período de estudio

Año	Situación Actual (Q)	Sistema Post-Adición (Q)	Aumento de Energía debido al sistema de Post-Adición (Q)
0	108,408.30		
1	109,275.57	115,291.37	-6,015.80
2	110,149.77	116,213.70	-6,063.93
3	111,030.97	117,143.41	-6,112.44
4	111,919.22	118,080.56	-6,161.34
5	112,814.57	119,025.20	-6,210.63

El consumo de agua por lavado tiende a disminuir como puede notarse en la tabla no. 19 debido a la menor cantidad de equipo a lavarse. La planta tiene una tasa preferencial de costo sobre el agua; el precio del agua se mantiene constante a lo largo del período de estudio debido a su mínimo aumento en costo.

Tabla No. 34: Costos de agua por lavado durante el período de estudio

Año	Situación Actual (Q)	Sistema Post-Adición (Q)	Ahorros en Agua debido al sistema de Post-Adición (Q)
0	2,436.75		
1	2,436.75	974.70	1,462.05
2	2,436.75	974.70	1,462.05
3	2,436.75	974.70	1,462.05
4	2,436.75	974.70	1,462.05
5	2,436.75	974.70	1,462.05

Los costos de mantenimiento cada año suben aproximadamente un 2%. Cada 2 años se le da mantenimiento mayor a la maquinaria que es 20% más caro.

Tabla No. 35: Costos de mantenimiento durante el período de estudio

Año	Situación Actual (Q)	Sistema Post-Adición (Q)	Aumento en Mantenimiento debido al sistema de Post-Adición (Q)
0	7,500.00		
1	7,650.00	10,200.00	-2,550.00
2	9,333.00	10,404.00	-1,071.00
3	7,959.06	12,692.88	-4,733.82
4	8,118.24	12,946.74	-4,828.50
5	9,904.25	15,795.02	-5,890.77

El costo actual de fabricación de crema (sin considerar empaque) es de Q 2.66, incrementando 1.5 % por año. Para obtenerse el costo de fabricación debe agregarse el valor de empaque del producto (tarros, tapas, corrugados) siendo éste de Q 0.45 con un incremento anual de 1.5 %. Con la cantidad de kilos de crema producidos anualmente fue posible determinar la cantidad de tarros de 450 g que se producen a lo largo del año (ventas anuales).

De tal modo, con los costos de fabricación y las ventas anuales fue posible determinar las ganancias netas por año tal como se expone en las tablas a continuación.

Tabla No. 36: Ganancia anual con la situación actual

Año	Kg. producidos por minuto	Kilogramos que tiene un tarro de crema lavaplatos	Costo de Fabricación de 1 kilo de crema lavaplatos	Costo de Fabricar 0.45 Kgs de crema lavaplatos	Costo de empaque del tarro de crema lavaplatos	Precio del tarro al cliente	Cantidad kilos producidos semanales	Cantidad de kilos producidos anuales	Cantidad de tarros anuales	Ventas Anuales (Q)	Costos de Fabricación (Q)	Ganancia Anual (Q)
0	54	0.45	2.660	1.197	0.450	4.50	472,640.00	22,686,720.00	50,414,933.33	226,867,200.00	83,033,395.20	143,833,804.80
1	54	0.45	2.700	1.215	0.457	4.57	472,640.00	22,686,720.00	50,414,933.33	230,270,208.00	84,278,896.13	145,991,311.87
2	54	0.45	2.740	1.233	0.464	4.64	472,640.00	22,686,720.00	50,414,933.33	233,724,261.12	85,543,079.57	148,181,181.55
3	54	0.45	2.782	1.252	0.471	4.71	472,640.00	22,686,720.00	50,414,933.33	237,230,125.04	86,826,225.76	150,403,899.27
4	54	0.45	2.823	1.270	0.478	4.78	472,640.00	22,686,720.00	50,414,933.33	240,788,576.91	88,128,619.15	152,659,957.76
5	54	0.45	2.866	1.290	0.485	4.85	472,640.00	22,686,720.00	50,414,933.33	244,400,405.57	89,450,548.44	154,949,857.13

Tabla No. 37: Ganancia anual con sistema de adición

Año	Kg. producidos por minuto	Kilogramos que tiene un tarro de crema lavaplatos	Costo de Fabricación de 1 kilo de crema lavaplatos	Costo de Fabricar 0.45 Kgs de crema lavaplatos	Costo de empaque del tarro de crema lavaplatos	Precio del tarro al cliente	Cantidad kilos producidos semanales	Cantidad de kilos producidos anuales	Cantidad de tarros anuales	Ventas Anuales (Q)	Costos de Fabricación (Q)	Ganancia Anual (Q)
0					0.450	4.43						
1	54	0.45	2.700	1.215	0.457	4.50	485,808.00	23,318,784.00	51,819,520.00	233,003,880.70	86,626,950.68	146,376,930.02
2	54	0.45	2.740	1.233	0.464	4.56	485,808.00	23,318,784.00	51,819,520.00	236,498,938.91	87,926,354.94	148,572,583.97
3	54	0.45	2.782	1.252	0.471	4.63	485,808.00	23,318,784.00	51,819,520.00	240,046,423.00	89,245,250.27	150,801,172.73
4	54	0.45	2.823	1.270	0.478	4.70	485,808.00	23,318,784.00	51,819,520.00	243,647,119.34	90,583,929.02	153,063,190.32
5	54	0.45	2.866	1.290	0.485	4.77	485,808.00	23,318,784.00	51,819,520.00	247,301,826.13	91,942,687.96	155,359,138.18

Se aplicó una disminución en el precio del producto terminado al cliente, pues con el precio actual el proyecto era rentable en menos de un año. entonces a modo de ofrecer un mejor precio y servicio se realizó la reducción de precio considerando que el proyecto recupera la inversión en un tiempo prudente para la empresa. Lo anterior puede apreciarse en el flujo de caja mostrado más adelante.

Con los costos y ventas de ambas situaciones se obtuvo las ganancias extras si se implementa el proyecto:

Tabla No. 38: Ganancias extras con el sistema de adición implementado debido al aumento de producción

Ventas (Q)	Costos Fabricación (Q)	TOTAL (Q)
2,733,672.70	2,348,054.55	385,618.15
2,774,677.79	2,383,275.37	391,402.42
2,816,297.96	2,419,024.50	397,273.46
2,858,542.43	2,455,309.87	403,232.56
2,901,420.57	2,492,139.52	409,281.05

Para llevar a cabo el proyecto, la empresa recurrirá a un plan de financiamiento durante un período de 60 meses, tiempo en el cual se espera recuperar la inversión inicial (Q409,516.80). Este plan de financiamiento aplica una tasa de interés sobre saldos, es decir que entre más se vaya amortizando la deuda menor será el pago de intereses.

Tabla No. 39: Cuota mensual a pagar sobre préstamo a un banco a 19% de interés sobre la inversión inicial

Mes	Pago a Capital (Q)	Pago de Intereses (Q)	Cuota (Q)
1	6,825.28	6,395.19	13,220.47
2	6,825.28	6,288.61	13,113.89
3	6,825.28	6,182.02	13,007.30
4	6,825.28	6,075.43	12,900.71
5	6,825.28	5,968.85	12,794.13
6	6,825.28	5,862.26	12,687.54
7	6,825.28	5,755.67	12,580.95
8	6,825.28	5,649.09	12,474.37
9	6,825.28	5,542.50	12,367.78
10	6,825.28	5,435.91	12,261.19

11	6,825.28	5,329.33	12,154.61
12	6,825.28	5,222.74	12,048.02
13	6,825.28	5,116.16	11,941.44
14	6,825.28	5,009.57	11,834.85
15	6,825.28	4,902.98	11,728.26
16	6,825.28	4,796.40	11,621.68
17	6,825.28	4,689.81	11,515.09
18	6,825.28	4,583.22	11,408.50
19	6,825.28	4,476.64	11,301.92
20	6,825.28	4,370.05	11,195.33
21	6,825.28	4,263.46	11,088.74
22	6,825.28	4,156.88	10,982.16
23	6,825.28	4,050.29	10,875.57
24	6,825.28	3,943.70	10,768.98
25	6,825.28	3,837.12	10,662.40
26	6,825.28	3,730.53	10,555.81
27	6,825.28	3,623.94	10,449.22
28	6,825.28	3,517.36	10,342.64
29	6,825.28	3,410.77	10,236.05
30	6,825.28	3,304.18	10,129.46
31	6,825.28	3,197.60	10,022.88
32	6,825.28	3,091.01	9,916.29
33	6,825.28	2,984.42	9,809.70
34	6,825.28	2,877.84	9,703.12
35	6,825.28	2,771.25	9,596.53
36	6,825.28	2,664.66	9,489.94
37	6,825.28	2,558.08	9,383.36
38	6,825.28	2,451.49	9,276.77
39	6,825.28	2,344.90	9,170.18
40	6,825.28	2,238.32	9,063.60
41	6,825.28	2,131.73	8,957.01
42	6,825.28	2,025.14	8,850.42
43	6,825.28	1,918.56	8,743.84

44	6,825.28	1,811.97	8,637.25
45	6,825.28	1,705.39	8,530.67
46	6,825.28	1,598.80	8,424.08
47	6,825.28	1,492.21	8,317.49
48	6,825.28	1,385.63	8,210.91
49	6,825.28	1,279.04	8,104.32
50	6,825.28	1,172.45	7,997.73
51	6,825.28	1,065.87	7,891.15
52	6,825.28	959.28	7,784.56
53	6,825.28	852.69	7,677.97
54	6,825.28	746.11	7,571.39
55	6,825.28	639.52	7,464.80
56	6,825.28	532.93	7,358.21
57	6,825.28	426.35	7,251.63
58	6,825.28	319.76	7,145.04
59	6,825.28	213.17	7,038.45
60	6,825.28	106.59	6,931.87

Q409,516.80

Pago de Intereses

Q604,570.21

Q195,053.41

