

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

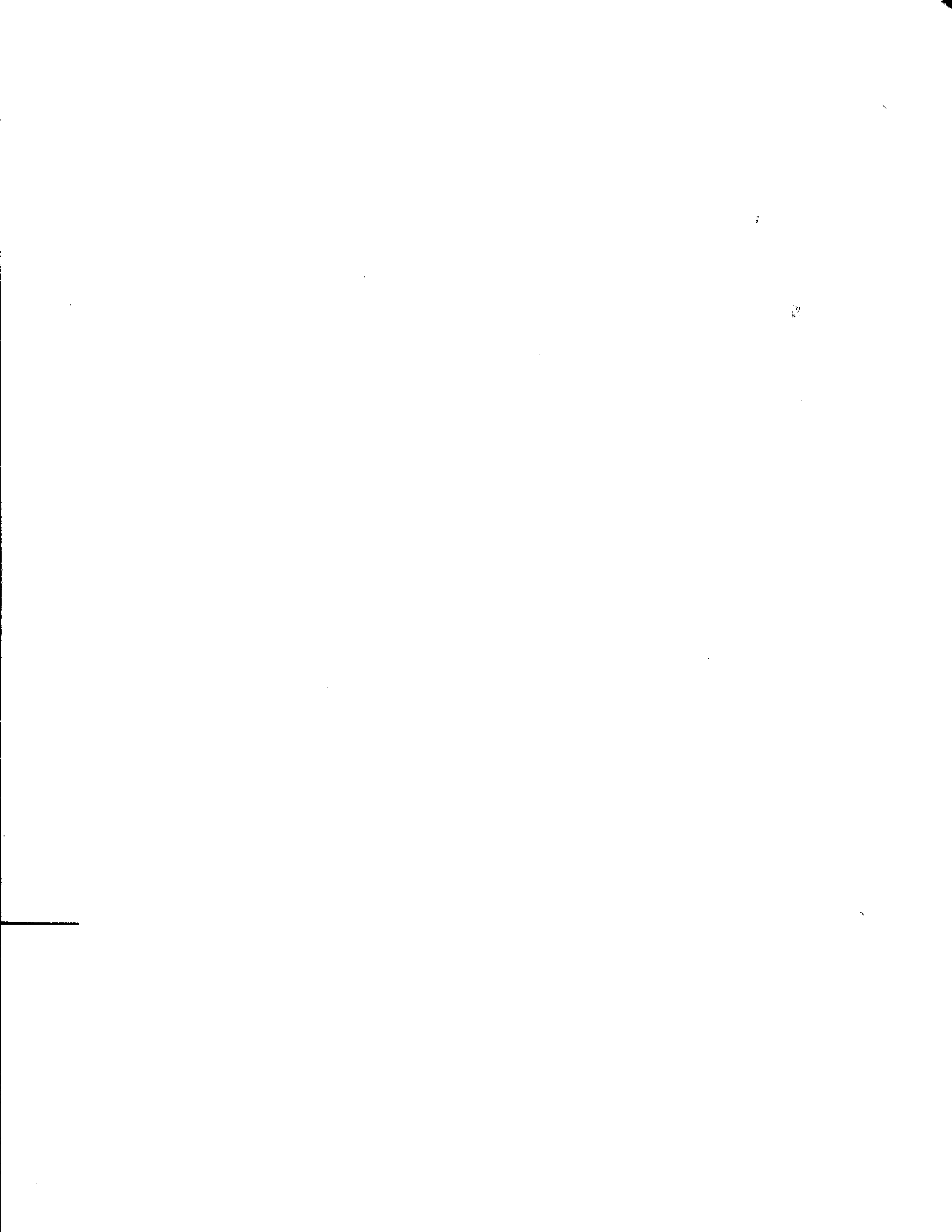
Facultad de Ciencias y Humanidades

Diseño de un proceso de fabricación de detergente en
polvo con generación de ingrediente activo en fase
sólida

Trabajo de investigación presentado para optar al grado
académico de Licenciada en Ingeniería Química por
Mireya Fernanda Velásquez Ordóñez

Guatemala
2005

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA



Diseño de un proceso de fabricación de detergente en
polvo con generación de ingrediente activo en fase
sólida

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

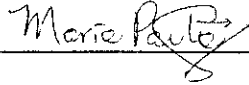
Diseño de un proceso de fabricación de detergente en
polvo con generación de ingrediente activo en fase
sólida

Trabajo de investigación presentado para optar al grado
académico de Licenciada en Ingeniería Química por
Mireya Fernanda Velásquez Ordóñez

Guatemala
2005

Vo. Bo.:

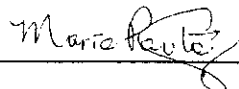
(f)



Ingeniera María Paula Chávez
Asesora

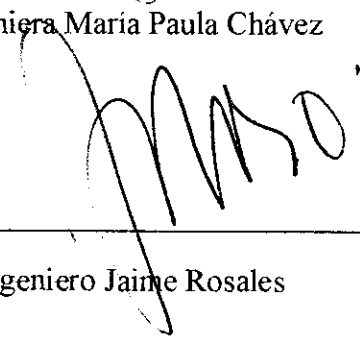
Tribunal:

(f)



Ingeniera María Paula Chávez

(f)



Ingeniero Jaime Rosales

(f)



Ingeniero José Eduardo Calderón

Fecha de Aprobación: 14 de Enero de 2005

A Dios nuestro Señor
A mis Padres y Hermanos
A mis Amigos

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación, se tiene como objetivo diseñar un proceso de fabricación de detergente en polvo con generación de ingrediente activo en fase sólida, a modo de disminuir la utilización de recursos e incrementar el margen de utilidad de la producción, sin perjudicar la calidad del producto final. Para realizar esto, se llevaron a cabo pruebas en el laboratorio de una planta de fabricación de detergentes, con lo que se pudo elegir una fórmula que cumple con las características requeridas por el consumidor. Con estos resultados y con las características de los materiales a emplear, se pudo determinar el tipo de equipo a utilizar y la inversión requerida para dicho proceso. Además, pudo realizarse un análisis de costos de producción, que reflejó un tiempo aceptable de recuperación de la inversión de aproximadamente 10 meses, mientras que los beneficios estimados para los próximos cinco años con la implementación del proceso, se estimaron en 37.8 millones de quetzales.

Con los resultados obtenidos, pudo concluirse que la fórmula desarrollada presenta una robustez aceptable, como para poder fabricarse en una Planta Industrial; que el proceso diseñado es factible tanto técnicamente, como económicamente; y que las principales fuentes de ahorro en la utilización de un proceso que genera el detergente en fase sólida, se encuentran en ahorros de materiales, eliminación del empleo de combustible y a la vez en una disminución de los costos de mano de obra empleados en el proceso.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
A. Definición de detergente	3
1. Detergencia	3
2. Acción del detergente en la remoción de suciedad	3
B. Fabricación de detergentes en polvo	4
1. Mezclador	4
2. Materia prima	8
3. Tanque de almacenaje temporal	11
4. Horno	11
5. Molino	11
6. Bombas de baja presión	12
7. Filtros	12
8. Bombas de alta presión	12
9. Torre de secado	12
10. Postadición	13
11. Llenado y Empacado	13
C. Características determinantes en la producción de detergente en polvo	14
1. Variables que afectan el desempeño del producto	14
2. Variables de proceso que afectan la calidad final del detergente	15
D. Requisitos básicos para el lanzamiento de un nuevo detergente en polvo	17
E. Mezcladores	18
1. Mezcladores de pastas y materiales viscosos	18
2. Mezcladores para sistemas sólido-sólido	20
3. Características de operación que deben tener los mezcladores de un sistema sólido-sólidos	21

F. Bombas	22
1. Bombas de desplazamiento positivo	22
III. JUSTIFICACIÓN	26
IV. OBJETIVOS	27
V. PROBLEMA	28
VI. METODOLOGÍA	29
VII. RESULTADOS	30
VIII. DISCUSIÓN	38
IX. CONCLUSIONES	43
X. RECOMENDACIONES	44
XI. BIBLIOGRAFÍA	45
XII. APÉNDICES	46
Apéndice A: Datos originales obtenidos para los Resultados de los Análisis Físicoquímicos realizados y para los requerimientos de la fórmula a desarrollar	46
Apéndice B: Datos originales obtenidos para el Diseño del equipo a utilizar en el proceso de fabricación de detergente en polvo	58
Apéndice C: Datos originales obtenidos para el Análisis de costos efectuado	61
Apéndice D: Métodos empleados para los análisis Físicoquímicos realizados	63
Apéndice E: Método de implementación de fórmulas en la Planta de Detergentes.....	76
Apéndice F: Datos Calculados para el Diseño del equipo a utilizar en el proceso de fabricación de detergente en polvo	80
Apéndice G: Datos Calculados para el Análisis de costos efectuado	83
Apéndice H: Cálculos de muestra del Diseño de equipo efectuado y del método empleado en el análisis de Costos	85

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla No. 1:	Adición correcta de materiales	15
Tabla No. 2 :	Variables que al ser manipuladas tienen efecto sobre la densidad (condiciones de la pasta)	16
Tabla No.3:	Condiciones a controlar en la torre y su influencia en la densidad.....	16
Tabla No.4:	Variables que afectan en la etapa del manejo del producto seco y su influencia en la densidad	16
Tabla No.5:	Variables a controlar en el proceso y su influencia en la humedad	17
Tabla No.6:	Variables a controlar en el proceso y su influencia en la velocidad de secado (kg/h) de la pasta de detergente	17
Tabla No.7:	Resultados obtenidos para las Fórmulas propuestas con variación de porcentajes de adición de materiales en la postafición	30
Tabla No.8:	Resultados obtenidos para los Análisis fisicoquímicos realizados con las fórmulas propuestas, un día después de la producción	31
Tabla No.9:	Resultados obtenidos para los Análisis fisicoquímicos realizados con las fórmulas propuestas, luego del añejamiento realizado a Temperatura ambiente	32
Tabla No. 10:	Resultados analíticos obtenidos para la fórmula No.5, por medio de los añejamientos realizados	33
Tabla No. 11:	Resultados obtenidos del diseño del mezclador sigma empleado para la producción de detergente en polvo	33
Tabla No. 12:	Resultados obtenidos del diseño de tornillos empleados para la dosificación de materiales como sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico (STPP) y soda ash densa	33
Tabla No. 13:	Resultados obtenidos del diseño de tanques empleados para el almacenamiento de materiales como sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico (STPP) y soda ash densa	34
Tabla No. 14:	Resultados obtenidos del diseño de la bomba de ácido sulfónico empleada para la dosificación de este materia en el mezclador	34
Tabla No. 15:	Resultados obtenidos del diseño de toberas empleadas para la aspersión de ácido sulfónico y perfume	34
Tabla No. 16:	Resultados obtenidos del diseño de recipientes de almacenamiento temporal para Detergente en polvo.....	35

Tabla No. 17:	Resultados obtenidos del costo del diseño de equipo para la fabricación de detergente en polvo.....	35
Tabla No. 18:	Resultados obtenidos del costo del diseño de equipo para la fabricación de detergente en polvo	36
Tabla No. 19:	Resultados Obtenidos para la estimación del tiempo necesario para la recuperación de la inversión utilizada en la implementación del proyecto.....	36
Tabla No. 20:	Datos originales obtenidos para las variables clave de liberación a nivel analítico de los detergentes en polvo.....	46
Tabla No. 21:	Datos originales obtenidos para las variables de control a nivel analítico de los detergentes en polvo.....	46
Tabla No. 22:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 1 propuesta, un día después de la producción efectuada.....	46
Tabla No. 23:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 2 propuesta, un día después de la producción efectuada	47
Tabla No. 24:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 3 propuesta, un día después de la producción efectuada	47
Tabla No. 25:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 4 propuesta, un día después de la producción efectuada.....	48
Tabla No. 26:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 5 propuesta, un día después de la producción efectuada.....	48
Tabla No. 27:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 6 propuesta, un día después de la producción efectuada.....	49
Tabla No. 28:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 7 propuesta, un día después de la producción efectuada.....	49
Tabla No. 29:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 8 propuesta, un día después de la producción efectuada.....	50
Tabla No. 30:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 9 propuesta, un día después de la producción efectuada.....	50
Tabla No. 31:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 10 propuest,a un día después de la producción efectuada.....	51
Tabla No. 32:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 1 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente.....	51

Tabla No. 33:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 2 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente	52
Tabla No. 34:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 3 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente	52
Tabla No. 35:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 4 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente	53
Tabla No. 36:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 5 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente.....	53
Tabla No. 37:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 6 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente	54
Tabla No. 38:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 7 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente.....	54
Tabla No. 39:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 8 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente.....	55
Tabla No. 40:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 9 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente.....	55
Tabla No. 41:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 10 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura ambiente.....	56
Tabla No. 42:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 5 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de temperatura baja.....	56
Tabla No. 43:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 5 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento a Temperatura alta.....	57
Tabla No. 44:	Datos originales obtenidos para los análisis Fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 5 propuesta, luego del añejamiento en condiciones de almacenamiento con exposición solar.....	57
Tabla No. 45:	Datos originales obtenidos para el diseño del mezclador sigma.....	58

Tabla No. 46:	Datos originales obtenidos para el diseño del tornillo dosificador de Soda ash densa, sulfato de sodio y tripolifosfato de sodio	58
Tabla No. 47:	Datos originales obtenidos para el diseño de los tanques de almacenamiento de soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato de sodio, ácido sulfónico y perfume.....	59
Tabla No. 48:	Datos originales obtenidos para el diseño de la bomba de ácido sulfónico.....	59
Tabla No. 49:	Datos originales obtenidos para el diseño de los tanques de almacenamiento temporal de detergente.....	59
Tabla No. 50:	Datos originales obtenidos para el orden y tiempo de adición de los materiales empleados para la fabricación de detergente en polvo.....	60
Tabla No. 51:	Datos originales obtenidos para la determinación de costos de equipo por el método de gráficas e índices de costos de equipo.....	61
Tabla No. 52:	Datos originales obtenidos para los Costos unitarios de las materias primas empleadas en la fórmula propuesta.....	62
Tabla No. 53:	Datos originales obtenidos para los Costos del combustible empleado en la fórmula actual y su consumo promedio por tonelada de detergente, así como para el costo unitario de la fórmula actual.....	62
Tabla No. 54:	Datos originales obtenidos para los Costos de la mano de obra empleada en la fórmula actual y en la propuesta.....	62
Tabla No. 55:	Datos originales obtenidos para la producción anual estimada en la fabricación de detergente en polvo.....	62
Tabla No. 56:	Datos calculados para el diseño del mezclador de detergente en polvo.....	80
Tabla No. 57:	Datos calculados para el diseño de tornillos de dosificación de soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico empleados para la dosificación de estos materiales al mezclador.....	80
Tabla No. 58:	Datos calculados para el diseño de tornillos de dosificación de soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico empleados para la dosificación de estos materiales al mezclador.....	80
Tabla No. 59:	Datos calculados para el diseño de tornillos de dosificación de soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico empleados para la dosificación de estos materiales al mezclador.....	81
Tabla No. 60:	Datos calculados para el diseño de tanques de almacenamiento soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico empleados para la dosificación de estos materiales al mezclador.....	81

Tabla No. 61:	Datos calculados para el diseño de tanques de almacenamiento de ácido sulfónico, perfume, empleados para la fabricación de detergente en polvo.....	81
Tabla No. 62:	Datos calculados para el diseño de la bomba de ácido sulfónico, empleada para la dosificación de este material al mezclador sigma.....	82
Tabla No. 63:	Datos calculados para el diseño de tanques de almacenamiento temporal de detergente en polvo.....	82
Tabla No. 64:	Datos Calculados para la estimación de costos de mano de obra anual para la fórmula actual y para la fórmula propuesta.....	83
Tabla No. 65:	Datos Calculados para la estimación de costos unitarios de los materiales empleados en la fórmula propuesta y del ahorro unitario obtenido en comparación con la fórmula actual.....	83
Tabla No. 66:	Datos Calculados para la estimación Beneficios totales obtenidos con el empleo del proceso propuesto.....	83
Tabla No. 67:	Datos calculados para la determinación de costos de equipo por el método de gráficas.....	84
Tabla No.68:	Características de un Mezclador de doble Brazo (tabla 18-3 del Perry, 2001)	85
Tabla No.69 :	Densidades promedio y clasificación de los materiales (tabla 21-4 del Perry, 2001)	86
Tabla No. 70:	Sistema de clasificación de sólidos a granel (tabla 21-3 del Perry, 2001).....	87
Tabla No. 71:	Alimentadores para materiales a granel (tabla 21-2 del Perry, 2001).....	88
Tabla No.72:	Capacidades y condiciones de carga de transportadores de tornillo (tabla No. 21-5 del Perry, 2001).....	88
Tabla No. 73:	Datos de transportadores de tornillo para material de 800kg/m^3 y paletas espirales seccionadas montadas en tubería (tabla No. 21-6 del Perry, 2001).....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura No.1:	Eliminación de la suciedad de la superficie y Suspensión estable de la suciedad de lavado	3
Figura No.2:	Molécula con parte hidrofílica e hidrofóbica	4
Figura No. 3:	Pasos para la fabricación de detergente en polvo	5
Figura No. 4:	Reacción de neutralización	5
Figura No. 5:	Horno empleado para calentar el aire de entrada a la torre de secado por aspersión...	11
Figura No.6:	Diagrama de desempeño de una bomba centrífuga y una bomba de desplazamiento positivo	22
Figura No. 7:	Comportamiento del flujo de un líquido en una bomba al variarse la viscosidad.....	23
Figura No. 8:	Efecto de la presión en la eficiencia de las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo.....	23
Figura No.9:	Bomba de engranaje interno	24
Figura No.10:	Bomba de engranajes externos	25
Figura No. 11:	Bomba de lóbulos	25
Figura No.12:	Bomba de pistón circunferencial	25
Figura No.13:	Diagrama del proceso diseñado para la producción de detergente polvo en fase Sólida.....	37
Figura No. 14:	Sistema de Vasos empleado en la medición del Coeficiente de Compresibilidad.....	64
Figura No. 15:	Análisis del Coeficiente de Compresibilidad	64
Figura No. 16:	Análisis del Ingrediente Activo de Detergentes	66
Figura No. 17:	Análisis del contenido de STPP en Detergentes	67
Figura No. 18:	Análisis del contenido de Humedad en Detergentes	68
Figura No. 19:	Análisis de la densidad de Detergentes	69
Figura No. 20:	Análisis de Contenido de Abrillantador Óptico	71
Figura No. 21:	Análisis de Actividad Enzimática	73

Figura No. 22:	Análisis de medición de pH	74
Figura No. 23:	Añejamiento de las muestras producidas a baja Temperatura (5°C)	78
Figura No. 24:	Añejamiento de las muestras producidas a alta Temperatura (43°C)	78
Figura No. 25:	Añejamiento de las muestras producidas a Temperatura ambiente	79
Figura No. 26:	Añejamiento de las muestras producidas con Radiación solar extrema (Exposición a la radiación ultravioleta).....	79
Figura No. 27:	Tanque de almacenamiento de soda ash densa, sulfato de sodio y tripolifosfato Pentasódico.....	90
Figura No. 28:	Tanque diseñado para almacenamiento de soda ash densa, sulfato de sodio y tripolifosfato pentasódico.....	91
Figura No. 29:	Diversos tipos de apersión	93
Figura No. 30:	Gráfica utilizada para la determinación de costos del tornillo de dosificación de sulfato de sodio.....	95
Figura No. 31:	Diagrama del diseño de los soportes empleados para los equipos necesario en el proceso propuesto	97

I. INTRODUCCIÓN

Desde las sociedades antiguas, las personas han enjuagado sus vestimentas e instrumentos en agua con el propósito de quitarles manchas o suciedades; muchas de éstas se desprenden de los objetos simplemente por la acción del agua y su afinidad a la misma, conjugada con una agitación mecánica, que termina de provocar la disolución de los materiales hidrofílicos (afines al agua). Sin embargo, esta agitación daña los objetos de los que se remueve la suciedad soluble, y no es capaz de ayudar en eliminación de las manchas hidrofóbicas (no afines al agua, afines a lo orgánico). Por lo tanto, las sociedades antiguas empezaron a utilizar compuestos naturales derivados de hojas, semillas y frutos, cuyas características son muy parecidas a las del jabón utilizado actualmente.

En el año 2800 antes de Cristo en Babilonia, se empezó a fabricar jabón a partir de grasas naturales, las cuales eran sometidas a un proceso de calentamiento y adición de bases para la producción requerida. A partir de entonces, este producto empezó a ser necesario para la sociedad, llegando en épocas modernas a formar una importante rama de la industria. A pesar de que los jabones naturales son favorables al medio ambiente, tienen la desventaja de precipitar muy fácilmente en aguas que contengan concentraciones considerables de iones, principalmente calcio y magnesio. Estas precipitaciones provocan malos olores y deterioran las superficies a lavar.

Todo esto, combinado con el auge de la industria petrolera, cuyos subproductos son fácilmente utilizables en la producción de detergentes sintéticos, condujo al descubrimiento de los mismos, en Alemania en 1936. Esto se originó en lugares donde el agua era muy dura y por lo tanto, el jabón formaba natas y no daba espuma. Los primeros detergentes fueron sulfatos de alcoholes y después alquilbencenos sulfonados, más tarde sustituidos por una larga cadena alifática, generalmente muy ramificada. Estos compuestos presentaron resultados positivos, pues al usarse en agua muy dura siguieron dando abundante espuma por no formar sales insolubles con calcio y otros constituyentes de las aguas duras.

Dado que los detergentes han resultado ser tan útiles por emulsionar grasas con mayor eficiencia que los jabones, su uso se ha popularizado, pero, contradictoriamente, han creado un gran problema de contaminación, ya que muchos de ellos no son degradables. Para evitar esto, se han hecho esfuerzos por sustituir la cadena lateral (R) ramificada (cada átomo de carbono está unido a más de dos átomos de carbono) por una cadena lineal (cada átomo de carbono unido a dos átomos de carbono), la que sí sería biodegradable. Los detergentes son muy variados y los hay para muy diversos usos. Simplemente, para ser efectivos en las condiciones de temperatura que se acostumbra en el lavado industrial de los distintos países de la Tierra, tiene que variar su formulación.

Es importante mencionar que la acción limpiadora del detergente depende directamente de la cantidad de ingrediente activo que éste posea, así como también de los coadyudantes y aditivos que se adicionen en la formulación. Sin embargo, cada uno de ellos representa un costo adicional, por lo que generalmente se utilizan en diferentes proporciones dependiendo de la calidad buscada del producto final. Además, muchas fórmulas con aproximadamente la misma composición, se diferencian por la cantidad y calidad de blanqueadores ópticos agregados, los cuales suelen encarecer la fórmula, pero dan una mayor sensación de limpieza en el lavado.

Debido a que las ventas y participaciones de mercado de las marcas dependen directamente de la calidad de los productos y su precio, es necesario buscar fuentes alternativas de ahorro para obtener mejores utilidades sin sacrificar la calidad.

En una planta de detergentes, puede notarse que uno de los principales costos primos es la adición de agua a la pasta, que luego debe ser removida en la torre de secado por aspersión. Esto se debe tanto a los costos del agua como del combustible, dado que la primera tiene que tratarse antes de ingresar al proceso, mientras que los combustibles deben de emplearse para calentar aire en un horno, que luego se pone en contacto directo con la pasta para secarla. El combustible, además, debe ser de alto desempeño, evitando generar cenizas u hollín que contaminarían el producto final por el contacto directo entre aire, gases de combustión y pasta a secar.

El estudio que se realizó en el laboratorio de una planta de fabricación de detergentes, tuvo por objeto proporcionar los requerimientos básicos de equipo para fabricar detergente en polvo sin emplear una torre de secado por aspersión. Además, se demostró que la alternativa tomada en la reducción de costos de proceso, no perjudica la calidad del producto final; al mismo tiempo que genera un margen de utilidad aceptable.

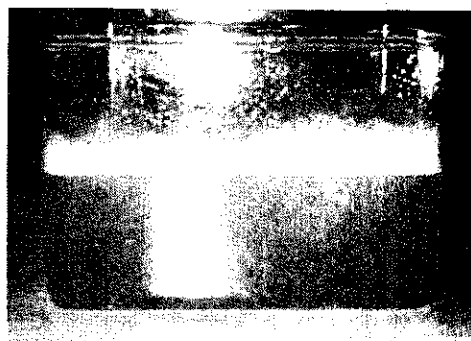
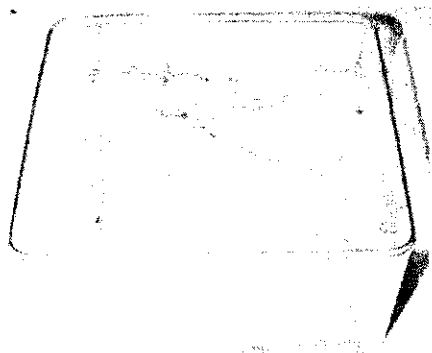
II. ANTECEDENTES

A. Definición de detergente

El detergente es un producto empleado para remover la suciedad de las superficies. Esto lo logra al reaccionar con iones del agua dura, dando productos solubles o que permanecen dispersos en forma coloidal en el agua. Las moléculas de detergente se pueden adicionar en agua como micelas, en donde la parte no polar (de hidrocarburo) de las moléculas se reúnen dentro de la micela, mientras que el grupo polar permanece en el exterior (Stadros, 1984).

1. **Detergencia:** Detergencia es la habilidad de remover la suciedad y suspenderla en el agua de lavado. El proceso de limpieza se basa de esta propiedad y consta de tres etapas las cuales se muestran a continuación:

- Humectación de la suciedad y de la superficie de la prenda de lavado.
- Eliminación de la suciedad de la superficie.
- Suspensión estable de la suciedad en el agua de lavado.



Eliminación de la suciedad de la superficie. Suspensión estable de la suciedad de lavado

Figura No. 1

2. **Acción del detergente en la remoción de suciedad:** En el agua de lavado los detergentes aumentan la capacidad humectante del agua para que pueda penetrar más fácilmente por todo el producto y alcance la suciedad; de esta forma empieza a eliminarla. Cada molécula de la solución limpiadora se puede considerar de cadena larga. Una terminal de la cadena es hidrofílica, la otra es hidrofóbica (que tiene afinidad además con la suciedad). Las terminales hidrofóbicas de algunas moléculas son atraídas a una partícula de suciedad y la rodean; al mismo tiempo las terminales hidrofílicas separan las moléculas y partículas de suciedad del producto que se está lavando hacia el agua de lavado. Esta es la acción que, al combinarse con la agitación de la máquina lavadora, hace capaz a un detergente de eliminar la suciedad, suspenderla y evitar que se pegue nuevamente a la ropa (Stadros, 1984).

En muchos casos la parte hidrofóbica de la solución limpiadora es un hidrocarburo que contiene de 8 a 18 átomos de carbono en una cadena recta o ligeramente ramificada. El grupo funcional hidrofílico puede ser: aniónico, como por ejemplo: los alquilbencensulfonatos lineales obtenidos del petróleo y los alquilsulfatos de grasa animales y vegetales; catiónico como por ejemplo: los compuestos cuaternarios de amonio (usados para ablandamiento de telas); o no iónicos como los condensados de óxidos de etileno de alcoholes grasos (excelentes para quitar manchas formando poca espuma) (Stadros, 1984).

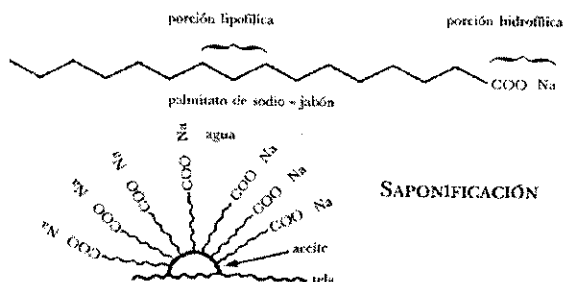


Figura No.2: Molécula con parte hidrofílica e hidrofóbica.

Así, pues, la acción limpiadora del detergente se obtiene por los agentes limpiadores que lo constituyen, entre los cuales uno de los compuestos que ejerce mayor actividad limpiadora se encuentra el Ingrediente Activo (ej.:Dodecilbencensulfonato de Sodio), el cual se obtiene por una reacción de soda cáustica con ácido sulfónico (Dodecilbencensulfónico).

B. Fabricación de detergente en polvo

El proceso de fabricación de detergente consta de varios pasos, los cuales pueden resumirse con el diagrama de la figura No. 3. A continuación se da una descripción de cada paso mostrado en dicho diagrama:

1. Mezclador: En el mezclador se lleva a cabo una operación de mezclado en la cual se unen todos los ingredientes de gránulo base. Los componentes sólidos (sulfato de sodio, tinopal, tripolifosfato de sodio) y líquidos (tinopal slurry, silicato de sodio, agua, ácido sulfónico, soda cáustica) son agregados a la unidad de mezclado (mezclador). Al mezclarse éstos completamente, se obtiene una suspensión (slurry) uniforme y libre de grumos para el secado por aspersión.

a. Características del producto a tomar en consideración durante el mezclado

- Composición del polvo base (esencial para la calidad del producto terminado).
- Densidad de polvo base
- Fluidez
- Tamaño de partículas
- Nivel de reversión de STPP (Tripolifosfato de sodio)

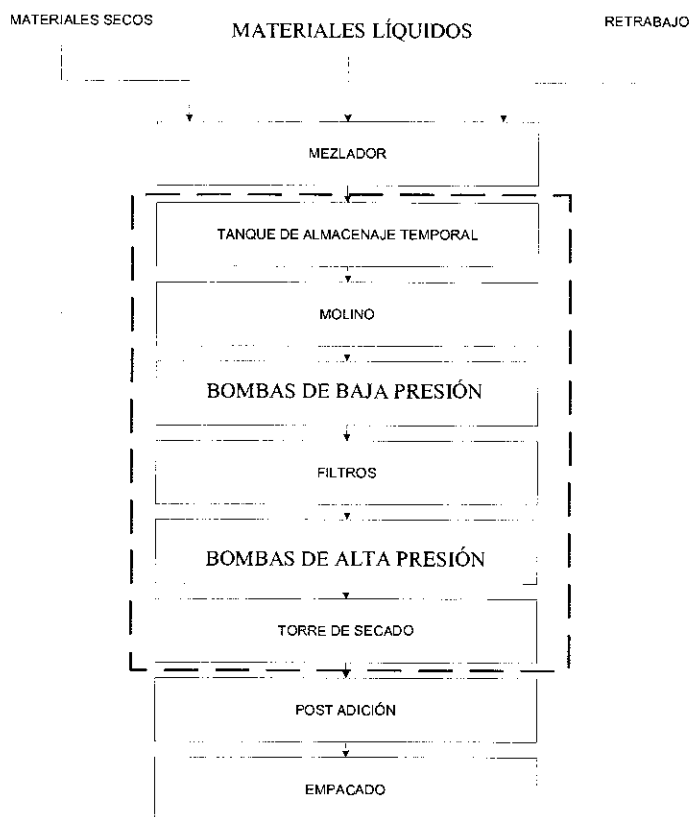


Figura No.3: Pasos para la fabricación de detergente en polvo

b. Procedimiento de operación en la etapa de mezclado: Es sumamente importante obtener una composición uniforme del polvo base, por lo que para lograr esto, se deben de seguir los siguientes procedimientos de operación:

- El agitador del mezclador (específicamente un agitador de álabes) debe correr continuamente desde el inicio de la adición de los materiales líquidos (soda cáustica, ácido sulfónico), para empezar la neutralización, con la que se forma el Ingrediente activo (McCabe W, 2002).

La reacción de Neutralización es la siguiente:

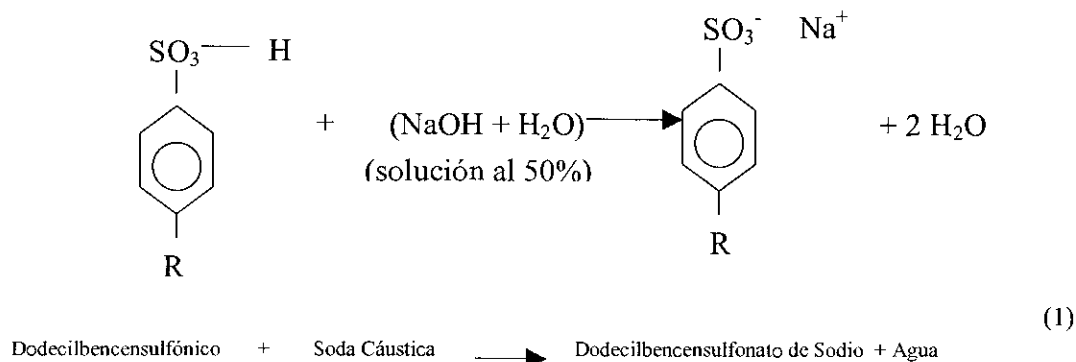


Figura No.4: Reacción de neutralización

- La agitación debe permanecer continua hasta terminar el periodo de adición de sólidos. La dirección de la rotación debe ser de tal manera que la suspensión (slurry) sea extraída del tubo de aspiración, hacia el fondo del mezclador.
- La temperatura óptima en el mezclador es de 65 °C, a la cual se logra maximizar la hidratación del tripolifosfato de sodio (STPP) y de esta manera minimizar la posthidratación. Esto se debe lograr para evitar los problemas de fluidez en el gránulo base debido a la posthidratación de STPP. Si no se logra alcanzar esta temperatura, se debe utilizar vapor en el tanque de almacenamiento de la pasta. El vapor a utilizar se inyecta directamente al tanque, para que la agitación homogenice la humedad agregada. Sin embargo es importante notar que no se debe exceder en la utilización del vapor, ya que esto puede generar problemas posteriores en la densidad y humedad de la pasta. Por ejemplo, si se excede la cantidad de vapor inyectado al tanque de almacenamiento, la humedad de la pasta aumenta, pero también se obtiene un incremento en la densidad del producto terminado, lo cual genera problemas en el paso de llenado del material.
- El orden de adición de los componentes en el mezclador no debe de alterarse, ya que esto puede afectar la homogenización de la pasta. Además, es un factor importante a considerar, ya que algunos componentes de la pasta absorben más humedad que otros y deben dárseles las condiciones necesarias para que la absorban sin dificultad.
- La agitación debe de ser suave para evitar incorporar aire en la mezcla. Esto es un factor muy importante a tomar en consideración, ya que el aire disminuye la densidad de la pasta y por lo tanto la del producto final. Además, la viscosidad de la pasta también se incrementa, lo que provoca una mayor presión en las bombas empleadas para enviar la pasta a la torre de secado por aspersión. La velocidad de agitación también se debe tomar en consideración, ya que hay ingredientes que necesitan más fuerza de agitación (sólidos) para incorporarse a la mezcla. En cambio, los ingredientes que se agregan en la neutralización (agua, soda cáustica y ácido sulfónico) y el silicato de sodio necesitan una agitación suave porque incorporan aire a la mezcla.
- Los sólidos deben ser los establecidos: el porcentaje de humedad debe ser de 35%, para que el rendimiento de la fórmula sea el previsto, y la tasa de secado sea estable.
- El tiempo de mezclado es importante para permitir la correcta hidratación del STPP (Tripolifosfato de sodio) y la mezcla completa y homogénea del resto de los ingredientes.
- El adecuado manejo del equipo y las materias primas: esto es importante porque el equipo debe calibrarse y estar en buenas condiciones para asegurar la calidad de la pasta.

c. Hidratación de STPP: La hidratación de STPP es una de las reacciones fundamentales que ocurren en la producción de gránulos de detergente usando el proceso de la torre, y su control es esencial para el proceso suave y desempeño del producto final.

El STPP es una mezcla de las formas de Fase I y Fase II. Cada forma es idéntica cristalina y químicamente ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) pero existen diferencias en la solubilidad:

- La Fase I es muy soluble e hidrata rápidamente a la forma hexohidratada ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). La hidratación de la Fase I no se ve afectada sobre 65-90 °C.
- La Fase II es menos soluble y tiene una tasa de hidratación, la cual desciende a medida la temperatura aumenta. Controlar la tasa de hidratación de STPP por motivos prácticos significa controlar la tasa de hidratación de la Fase II.

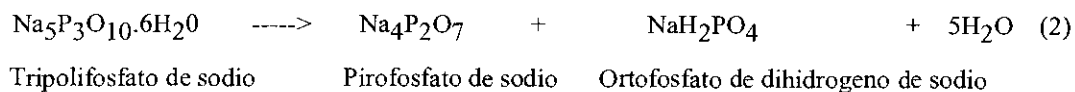
Otros factores que aumentan la tasa de hidratación del STPP son los siguientes:

- Materia prima: un porcentaje alto de la Fase I, tasa alta de hidratación, porcentaje alto de prehumectación, tamaño de partícula bajo.
- Baja temperatura del mezclador (la hidratación de la Fase II aumenta dramáticamente por debajo de 65 °C).
- Humedad aumentada de la pasta en el mezclador
- Cambio de la orden de adición de la batidora (STPP antes en el ciclo)
- Tiempo de residencia (en el mezclador y en el tanque intermedio)
- Proceso de la torre (tasa, temperatura y perfil, tipo de formulación)

Cada proceso tiene un grado óptimo de hidratación de STPP, por lo que es importante controlar el proceso al máximo. Por ejemplo, al tener muy poca hidratación del STPP puede llegar a pasar más tarde en el proceso que el polvo esté pegajoso así como en la post-hidratación. El producto terminado también puede experimentar un aumento de temperatura en los carros de almacenamiento (totes), debido a la post-hidratación, lo cual podría afectar a los materiales sensibles al calor como el blanqueador, activador blanqueador, y enzimas. Por otro lado, demasiada hidratación del STPP puede desarrollar una alta reversión (pérdida de desempeño del STPP), un mezclado y bombeo desigual debido a una alta viscosidad de la mezcla.

Los aditivos líquidos siempre se mezclan primero, seguidos por los sólidos con STPP hasta el final del ciclo (tiempo de mezclado). Es también importante mencionar que el sulfato de sodio, debe ser agregado después del STPP, ya que si se agrega antes, absorbería éste el agua, provocando una reducción en la hidratación de STPP (omega.ilce.edu.mx, 2000).

i. Reversión de STPP: La reversión de STPP es una degradación indeseable del tripolifosfato de sodio (STPP) hacia las formas de piro y ortho:



La reversión de STPP da como resultado una disminución en el desempeño como orto- y pirofosfato y puede formar complejos con iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} y precipitarse fuera de solución, dando como resultado deposiciones en el tejido. Por lo tanto, es indispensable que se controle el nivel de reversión del fosfato (omega.ilce.edu.mx, 2000).

Entre los factores que influyen en el grado de reversión de STPP se encuentran los siguientes:

- La mala calidad de la materia prima (STPP) tendrá un grado inicial excesivo de reversión. Se puede esperar que la mayoría de las entregas comerciales contengan 4 a 5 % de especies revertidas.
- La hidrólisis de STPP en el mezclador y en el tanque de almacenamiento, aumenta con temperaturas mayores a 80 °C, por bajo pH, o por excesivo tiempo de residencia.
- La deshidratación del STPP hexohidratado en la torre, aumenta por las altas temperaturas de entrada de aire, sobre-secado del polvo base, nivel de STPP en la formulación, grado de hidratación en el mezclador.

d. Variables que se manejan en el mezclado: Algunas de las variables que se deben tomar en consideración al llevar a cabo el mezclado son las siguientes:

- Viscosidad: Este parámetro indica la resistencia a los esfuerzos cortantes. Para que las pastas en el mezclador sea fácil de bombear, y al mismo tiempo tenga la densidad requerida, su viscosidad debe estar entre 12,000 a 16,000 cP. A mayor viscosidad, se tendrá mayor dificultad para bombear y atomizar la pasta en la torre de secado por aspersión (Davidsohn, 1953).
- La densidad de la mezcla es el mayor influyente en la densidad final del polvo, por ejemplo:

Densidad de mezcla=1.0 g/cc	→	Densidad del polvo= 0.30 g/cc
Densidad de mezcla=1.4 g/cc		Densidad del polvo= 0.45 g/cc
- La humedad de la pasta debe ser de 35.00 % +/- 0.01 %, ya que la cantidad de sólidos hace variar la velocidad de secado de la torre de aspersión. Mientras más sólidos haya en la pasta, más alto es la velocidad de secado, por lo que al estar éstos en exceso, se obtendrá una pasta más densa y viscosa (Davidsohn, 1953).

2. Materia Prima

a. Surfactantes: Compuestos que afectan la tensión superficial al disolverse en agua o en soluciones acuosas realizando la principal limpieza (emulsifica tierras grasosas e incrementa su remoción) y espumación de la acción lavadora. Todo esto se logra por medio de la reducción de la tensión superficial.

Los surfactantes o compuestos orgánicos activos se fabrican en gran volumen para la industria de detergentes y jabones. Generalmente se emplea como surfactante al: alquilbencensulfonato y sulfatos de alcoholes grasos (Stadros, 1984).

Existen diferentes tipos de surfactantes: aniónicos, catiónicos y no iónicos, cuyas características son las siguientes:

- Agentes aniónicos: los surfactantes aniónicos contienen generalmente uno de cuatro grupos polares solubles - carboxilato, sulfonato, sulfato o fosfato - combinado con una cadena hidrocarbonada hidrófoba. Si esa cadena es corta son muy hidrosolubles, y en caso contrario tendrán baja hidrosolubilidad y actuarán en sistemas no acuosos como aceites lubricantes. Dentro de esta clasificación se encuentran compuestos como el alquil bencen sulfonato lineal (LABS) objeto de este documento, los alquil sulfatos (AS) derivados principalmente del petróleo, y de alta utilización en la industria de jabones y detergentes.
- Agentes catiónicos: los surfactantes catiónicos comúnmente utilizados en detergentes, agentes limpiadores, líquidos lavaplatos y cosméticos están compuestos por una molécula lipofílica y otra hidrofílica, consistente de uno o varios grupos amonio terciarios o cuaternarios. Las sales de cadenas larga de amonio terciarias, obtenidas por neutralización de las aminas con ácidos orgánicos o inorgánicos, son raramente usadas en detergentes y preparaciones para limpieza. Su principal aplicación está en el tratamiento de textiles y ocasionalmente como suavizantes. Las sales de amonio cuaternarias con un solo grupo alquilo (C_{12} - C_{18}), o dos grupos más cortos (C_8 - C_{10}) son usados como sustancias activas antimicrobianas. Debido a su capacidad para adsorber sobre fibras o cabello, los inicialmente mencionados sirven como acondicionadores para el cabello.
- Agentes no iónicos: en contraste a sus contrapartes iónicas, los surfactantes no iónicos no se disocian en iones hidratados en medios acuosos. Las propiedades hidrofílicas son provistas por hidratación de grupos amido, amino, éter o hidroxilo. Cuando existe un número suficiente de estos grupos la solubilidad acuosa es comparable con la de los surfactantes iónicos. Las aplicaciones son extensas y dependen de la cantidad de grupos polares presentes, que determinarán la solubilidad tanto en agua como en aceite (cuantificada en la práctica mediante el índice HLB, o balance hidrofílico - lipofílico).

Generalmente, el ingrediente activo es una sal de sodio de un ácido sulfónico, el cual se puede obtener de varias formas: con secado por aspersión, secador en tambor o fabricado en un proceso sin torre.

b. Alquilbencenos de cadena lineal: Los detergentes biodegradables son fabricados principalmente con n-alcanos fenil sustituidos de 11 a 14 carbonos. Las parafinas u olefinas de cadena lineal necesarias se obtienen a partir de petróleo. Los n-alcanos se separan del queroseno por adsorción o por medio de una reacción con urea. Las oleofinas lineales se preparan por la deshidrogenación de parafinas, o también por polimerización de etileno a olefina (Stadros, 1984).

c. Alcoholes grasos: Los alcoholes grasos de número de átomos de carbono se obtienen a partir de olefinas y metil ésteres por el procedimiento catalizador de Ziegler (Stadros, 1984).

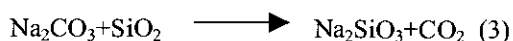
d. Suavizante de agua/mejoradores: Son compuestos que mejoran el proceso de lavado. En la fabricación de detergente se suele emplear el tripolifosfato de sodio (STPP), el cual tiene la característica de capturar las partículas de metales y minerales (principalmente Calcio y Magnesio) que se encuentran en el agua, los cuales por ser muy pesados limitan la actividad del ingrediente activo (Davidsohn, 1953).

El STPP ayuda a suspender la suciedad en el agua de lavado (antidepositantes), mantiene la alcalinidad necesaria para la limpieza y también reacciona con la grasa y aceite. Uno de los sustitutos de los fosfatos son las zeolitas (Stadros, 1984).

e. Reguladores de espuma: Son necesarios para que los surfactantes realicen una limpieza eficiente en la máquina lavadora. Esto se logra por la combinación de los diferentes tipos, aniónicos con no iónicos o aniónicos con jabón. Otros agentes son las amidas de ácidos grasos mayores, los ésteres de ácidos carboxílicos alifáticos que contengan más de 18 átomos de carbono en una cadena o en ambas, tanto el ácido como el alcohol, y las n-alquil aminotriazinas (Stadros, 1984).

f. Inhibidores de corrosión: Son compuestos que sirven para formar una película protectora en el equipo de lavado. Es decir, los silicatos pueden inhibir la corrosión de acero inoxidable y de aluminio, que la producen los detergentes sintéticos y fosfatos.

Normalmente se utiliza el silicato de sodio, cuya función también es dar cuerpo y resistencia a las partículas del detergente. El silicato de sodio se obtiene con la siguiente ecuación (Davidsohn, 1953):



Otra de las características del silicato de sodio es que suaviza el agua al formar precipitados que pueden ser fácilmente lavados. Estos tienden a no depositarse en las fibras de la ropa que se está lavando, ya que poseen características de suspensión y antidepositación. Es importante notar que una de las características más importantes del uso del silicato de sodio es que tiene una acción amortizante contra los compuestos ácidos. Esto es importante, ya que la mayoría de los suelos en procesos de lavandería son ácidos. Los silicatos pueden inhibir la corrosión de acero inoxidable y de aluminio que la producen los detergentes sintéticos y fosfatos.

g. Blanqueadores ópticos: La función de estos materiales es dar apariencia de brillantez a la ropa una vez lavada. Su función es más apreciable en la ropa blanca. Los compuestos que proporcionan brillantez a la ropa, son colorantes fluorescentes que la hacen relucir, por su capacidad de convertir la luz ultravioleta en luz visible.

h. Catalizadores de la reacción química: Para esto se pueden emplear enzimas, cuya función es acelerar la reacción de limpieza. Es importante notar el cuidado que se debe tener con el manejo de las enzimas, ya que éstas pueden reaccionar en presencia de humedad y sustancias orgánicas, característica importante a tomar en cuenta para el diseño de un proceso de fabricación de detergente (Stadros, 1984).

A pesar de sus importantes aportaciones a la formación de un detergente, es conveniente mencionar que las enzimas producen problemas de salud en el personal en contacto directo con la fabricación del detergente, ya que los detergentes producen polvo que, al ser aspirado, pasa a los pulmones. Esta generación de polvo se puede evitar fabricando detergentes con mayores gránulos (Stadros, 1984).

i. Otros aditivos: Entre otros aditivos se encuentra el carbonato de sodio (soda ash), el cual es un material que actúa como limpiador, ya que convierte las grasas y aceites presentes en la suciedad en jabón (proceso denominado saponificación). Algunos compuestos de sodio, tales como la soda cáustica y la soda ash tienen esta función (Stadros, 1984).

La soda ash densa provee un alto grado de alcalinidad. Su función es suavizar el agua al precipitar carbonatos de calcio y magnesio, proveer un pH a la solución mayor a 9 y al mismo tiempo logra que se mantenga este pH. Existen dos grados de soda ash a utilizar: soda ash light y soda ash densa. La primera de estas particularmente puede absorber grandes cantidades de material líquido en su superficie y aún así permanecer seca. También se utiliza como agente de neutralización del surfactante aniónico. ;

Entre otras sustancias que se agregan a los detergentes para mejorar sus características se encuentran ciertas sustancias que protegen a las telas contra la fijación del polvo del suelo o el atmosférico. Una sustancia con esas propiedades es la carboximetilcelulosa (CMC), que es eficiente en algodón y otras telas celulósicas, pero falla con telas sintéticas. Para estas últimas es útil el uso de 1 a 6 % de ácido poliacrílico o de poliacrilatos (Stadros, 1984).

Otro aditivo que se emplea para la fabricación de detergente es el perfume, el cual es un aceite esencial, ya bien derivado de plantas, semillas o síntesis químicas, que por poseer una fragancia fuerte, sirven para dar olor a los detergentes (Stadros, 1984).

3. Tanque de almacenaje temporal: El tanque de almacenaje temporal es un tanque que amortigua la operación, este tanque tiene una capacidad aproximadamente 3 veces mayor que el mezclador. Este tanque se encuentra entre el mezclador y la torre de secador por aspersión y su función principal es convertir el proceso por lotes a un proceso continuo, ya que mediante éste se logra una alimentación continua de pasta hacia la torre. El nivel de llenado óptimo es de 35 % para el grado correcto de hidratación de STPP. Las altas temperaturas en el tanque de almacenaje temporal pueden ser por lo tanto una indicación de problemas en el paso del mezclador.

4. Horno: En el horno se da la reacción de combustión, donde se genera el calor necesario para el proceso de secado. La reacción de combustión necesita combustible + Oxígeno+chispa. El aire que entre a la torre, reduce el nivel de uso de la temperatura de salida del horno antes de entrar en contacto con el producto.

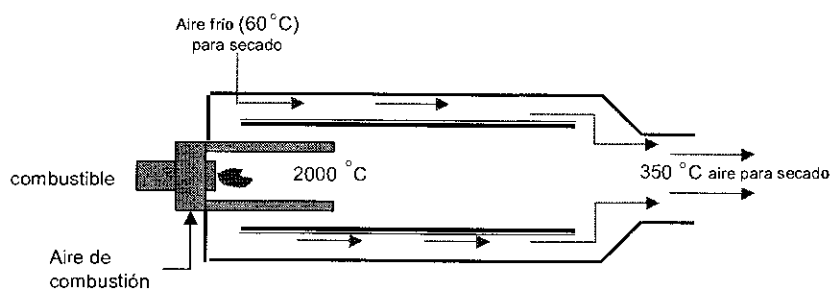


Figura No. 5: Horno empleado para calentar el aire de entrada a la torre de secado por aspersión

5. Molino: En el molino se lleva a cabo la reducción de tamaño de las partículas que pudiera traer alguna de las materias primas y que no haya disuelto o reaccionado en el mezclador. Esto es necesario, para evitar daños en las bombas de baja y alta presión.

Así, pues, con esta etapa se obtiene una pasta homogénea, con lo que también se evitan problemas por taponamiento en las toberas.

6. **Bombas de baja presión:** La bomba de baja presión disminuye el trabajo de succión de las bombas de alta presión, proveyéndolas de un flujo constante de pasta, evitando cavitación en ellas. Al mismo tiempo, aumenta la presión del fluido, provocando que el trabajo que tengan que hacer las bombas de alta presión sea menor al que desempeñaría si esta bomba no estuviera. Esta bomba es una bomba de velocidad variable, por medio de lo cual se puede lograr mantener una alimentación uniforme a las bombas de alta presión, lo que evita las variaciones en la densidad final del producto.

7. **Filtros:** Los filtros aseguran que no entre ninguna partícula de tamaño considerable a las bombas, lo que puede provocar daños al equipo (tubería, bombas) sino también podría provocar tapones en las válvulas de cheque, lo que puede llegar a ser peligrosos por las altas presiones manejadas en el sistema.

8. **Bombas de alta presión:** El sistema de la bomba de alta presión traslada la pasta preparada en el mezclador desde el tanque de almacenamiento temporal hacia las boquillas de la torre de secado por aspersión. Es importante notar que al aumentar la presión de las bombas, aumenta la densidad del producto, debido a que la gota que se forma en la atomización es pequeña (Stadros, 1984).

9. **Torre de secado:** Esta etapa es muy importante dado que la presión y temperatura son claves para dar al producto final la apariencia y los estándares de humedad y densidad que requiere. Este proceso consiste en remover el agua contenida en las gotas de mezcla dentro de una cámara calentada por aire (flujo a contracorriente con la pasta), con lo que se puede obtener el detergente en polvo (Stadros, 1984).

La pasta se atomiza en las boquillas simples a presiones de 4.1 a 6.9 kPa (600 a 1000 libras por libra cuadrada), mientras que con dos boquillas se atomiza a presiones de 340 hasta 690 kPa (50 a 100 psi). Para seleccionar el tamaño de adecuado de las toberas se pueden emplear tablas que contienen parámetros como presión de atomización, viscosidad del fluido (Layman, 1984).

Es importante mencionar que el producto ingresa por la parte superior de la torre, mientras que una corriente de aire caliente (315-400°C) ingresa por la parte inferior de ésta (Layman, 1984).

Las torres en las que se lleva a cabo esta acción de secado son cilíndricas con fondos en forma de conos y con una dimensión de 4 a 7 metros de diámetro y de 12 a 38 metros de altura. Los gránulos de detergente se transportan mecánicamente o por aire desde la torre hacia un mezclador, en donde se le incorporarán otros ingredientes líquidos o sólidos, los cuales no son sensibles a las altas temperaturas manejadas en la torre de secado (Layman, 1984).

Varias transformaciones críticas ocurren en la torre: atomización, mezclado, secado, separación, vaporización de orgánicos, cristalización, reversión y calentamiento de STPP. Las características importantes del producto que son controladas durante esta etapa son las siguientes:

- Densidad del polvo base
- Humedad del polvo base
- Características físicas del polvo base (apariencia, insoluble, fluidez)

- Desempeño del producto sobre blancura y manchas sensibles del fabricante (mediante el control de reversión del STPP).

Las boquillas tienen que ser distribuidas en la torre de tal manera no ocurra choques que causen gruesos (partículas grandes de detergente en polvo). Al mismo tiempo, las boquillas deben ser examinadas regularmente con respecto al uso y daños, y reemplazarlas cuando sea necesario. Esto se debe ser manejado por un chequeo semanal de las boquillas y un reemplazo mensual para asegurar un producto y proceso óptimo. Es importante notar que si la apertura de la boquilla de aspersión de la torre ha aumentado al equivalente del tamaño de una boquilla entonces deberán ser reemplazadas inmediatamente.

La temperatura de escape de la torre tiene que estar en un rango de 70 ° a 90 °C. Si la temperatura asciende por encima de estos límites, entonces se debe revisar el sistema por las causas, por ejemplo, atomización, nivel de escape, condición, uso o configuración de la boquilla.

Es importante resaltar que el aire dentro de la torre tiene un efecto de entra-sale, dado por los ventiladores, los cuales permiten la entrada de aire en la parte inferior de la torre y actúan como extractores en la parte superior de la torre. Se debe ajustar el ventilador de alimentación con fines de ajustar la capacidad de secado. También es necesario ajustar el ventilador de extracción para balancear el aire dentro de la torre, de tal manera que la misma cantidad que entra sea la que salga. Si este ventilador saca más de lo que entra, se incrementaría la salida de polvos hacia los ciclones.

10. Postadición: En esta etapa se agregan los materiales que son sensibles al calor y la humedad y que si se mezclaran en la etapa del mezclador antes mencionada, se descompondrían o reaccionarían perdiendo así su efectividad. Los componentes que se adicionan son: enzimas, las cuales reaccionan en presencia de agua y se descomponen a altas temperaturas; perfumes, los que se volatilizan a temperaturas mayores de 90 °C; soda ash densa, la cual por tener un grano más grueso que la soda ash liviana no puede mezclarse en el mezclador, y además sirve para aumentar la densidad del producto final.

11. Llenado y empaçado: El llenado puede llevarse a cabo por dos formas:

a. **Llenado volumétrico:** El llenado volumétrico se basa en el volumen de producto, el cual es ajustado por medio de ajustes en el cabezal de la máquina. Este ajuste depende de la observación del operador, quien verifica cada cierto tiempo el peso de las unidades. En este tipo de llenado, la exactitud de la operación depende altamente de la densidad del polvo (Davidsohn, 1953).

b. **Llenado gravimétrico:** El llenado gravimétrico se basa en el peso del producto, la máquina misma ajusta el peso de cada vaso por medio de celdas de carga. Esto significa que todo el producto es prepesado para cada bolsa o caja a llenar. Este tipo de control es menos dependiente de la densidad y se usa básicamente para el llenado de productos alimenticios, sobretodo los de la canasta básica.

Es importante resaltar que en cualquiera que sea el método de llenado, el producto no debe ser empaçado por encima de 45 °C, para evitar la degradación de las enzimas.

C. Características determinantes en la producción de detergente en polvo

1. Variables que afectan el desempeño del producto

a. Densidad: Cada parte del proceso tiene variaciones propias que influyen en la densidad. Las variaciones de cada parte del proceso son acumulativas, por eso es necesario reducirlas en cada punto y controlarlas, de manera que el rango de desviación sea pequeño.

El rango de variación en la densidad es importante dado que de este depende el rango de sobrellenado del producto para la venta. Por ejemplo si el rango de variación es amplio, el rango de sobrellenado debe ser tan amplio como para cubrirlo y sobrepasarlo con el fin que el consumidor está recibiendo como mínimo, el peso marcado en la bolsa.

Para controlar en donde puede haber una variable que afecte la densidad se pueden seguir los siguientes pasos:

- En el mezclador es el primer punto de revisión y control de la densidad. Se debe tener una densidad de pasta entre 1.3 g/cc. Esta puede ajustarse por adición de agua, adición correcta de los materiales, agitación apropiada y correcta formulación de antiespumante.
- El segundo control de densidad es el control en las variables de secado: la presión en las bombas que llevan la pasta desde la salida del tanque de espera hasta la atomización en la parte superior de la torre. Esta debe ser adecuada sin forzar demasiado las bombas. Atomizar a alta presión produce partículas pequeñas y al acomodarse mejor aumentan la densidad. Por otro lado, la temperatura de secado puede también ser la causante de una variación en la densidad. El aumento en la temperatura causa expansión en las partículas, estas se abultan y dan como resultado un producto de menor densidad.
- El tercer control es en la postadición, la cual debe ser de acuerdo a lo formulado con el fin de no afectar la densidad ni la apariencia del producto. Esto se obtiene variando la postadición según varíe el flujo de detergente de la torre.

b. Humedad: El rango de humedad para el detergente puede variar $\pm 1\%$ del formulado. La cantidad de agua depende de la fórmula y en especial del STPP. Las variaciones en la humedad se pueden dar por ajustes en la cantidad de sólidos en el tanque de mezclado y por cambios en la temperatura de secado. Los pasos para poder controlar cualquier variación de la humedad son los siguientes:

- El primer control es en el mezclador, en el que debe adicionarse la cantidad formulada de cada material para mantener el porcentaje de sólidos constante. Debe revisarse la humedad de la pasta por lo menos cada hora. (Stadros T. 1984)
- El segundo control de la humedad es en el proceso de secado, en el que se puede controlar por cambios en el calor. Más calor da como resultado más polvo seco. Cuando la atomización es buena, el parámetro a observar debe ser la temperatura de salida, la cual debe mantenerse dentro de un límite de variación de $\pm 5^\circ\text{C}$ del promedio (Davidsohn, 1953).
- El tercer control es en la post-adición, en la que las materias primas y aceites esenciales líquidos incrementan la humedad del producto. Debe adicionarse lo formulado, haciendo

variar la post-adición de cada componente de acuerdo a la velocidad de secado de la torre, con el fin de mantener la humedad dentro de los estándares establecidos (Davidsohn, 1953).

En la tabla No. 1 se muestra el efecto de algunos componentes, agregados en la etapa de mezclado, en la densidad y humedad del producto terminado.

Tabla No. 1: Adición correcta de materiales

Nombre del Material	Qué lo afecta
Ácido sulfónico	Cuando se adiciona en exceso, disminuye la densidad de la pasta, se llena de aire y si no se completa la neutralización de ésta, puede provocar que se derrame el material en el mezclador.
Soda cáustica	Si se agrega en exceso, se produce mucho retrabajo (gotas gruesas de detergente después de secarse).
STPP (Tripolifosfato de sodio)	Este ingrediente determina la humedad de detergente y también su apariencia, por lo que se debe dosificar la cantidad apropiada. Además se debe dar suficiente tiempo de agitación para la hidratación de éste. Este material retiene 6 moléculas de agua por cada una de sus molécula. Si la hidratación del STPP no es completa durante el mezclado, lo hace después cuando el producto ya está terminado, lo que provoca aglomerados duros de detergente. Si se adiciona el STPP en exceso, se baja la densidad de la pasta y aumenta la viscosidad.
Silicato de Sodio	Este da forma y firmeza a las partículas de detergente, por lo que hay que evitar agregar en exceso, ya que si se añade mucho los granos se endurecen y tienden a romperse generando muchos finos en el proceso (no se deshacen en el agua).
Soda ash	Si se agrega mucho de este componente, la densidad de la pasta disminuye.
Sulfato de sodio	Este es un componente de relleno, de alta densidad. Si se agrega mucho, la densidad de la pasta aumenta

2. Variables de proceso que afectan la calidad final del detergente: Durante el proceso se deben de llevar controles para evitar efectos indeseados en la densidad, humedad y velocidad de secado del producto terminado. A continuación, en las siguientes tablas, se muestran las variables que se deben controlar para evitar las variaciones de densidad (Stadros T. 1984):

a. Densidad

Tabla No. 2 : Variables que al ser manipuladas tienen efecto sobre la densidad (condiciones de la pasta)

Aumento de	Influencia en la densidad
Ingrediente activo	Disminuye
STPP	Disminuye
Silicato de Sodio	Disminuye
Soda ash	Disminuye
Sulfato de sodio	Aumenta
% Sólidos	Aumenta
Agitación de la mezcla	Disminuye
Aire en la mezcla	Disminuye
Temperatura de la mezcla	Aumenta

Tabla No.3: Condiciones a controlar en la torre y su influencia en la densidad

Aumento de	Influencia en la densidad
Temperatura de secado	Disminuye
Presión de atomización	Aumenta

Tabla No.4: Variables que afectan en la etapa del manejo del producto seco y su influencia en la densidad

Aumento de	Influencia en la densidad
Postaditivos secos	Aumenta
Postaditivos húmedos	Disminuye
Manipuleo del producto en los tanques de almacenamiento temporal	Aumenta

b. Control de la humedad: Se debe mantener un equilibrio entre la humedad del producto final y el agua evaporada en el proceso de secado. Algunas de las variables que afectan la humedad se presentan a continuación:

Tabla No.5: Variables a controlar en el proceso y su influencia en la humedad

Incremento de	Influencia en la humedad
Temperatura de entrada	Disminuye (más calor para evaporar el agua)
Volumen de aire	Disminuye (más aire caliente para evaporar el agua)
Sólidos de la pasta	Disminuye (menos agua para evaporar)
Cantidad de pasta que entra	Aumenta (más agua que evaporar)

Tabla No.6: Variables a controlar en el proceso y su influencia en la velocidad de secado (kg/h) de la pasta de detergente:

Incremento de	Influencia en la velocidad de secado
Temperatura de entrada	Aumenta (se seca más rápido el agua que está presente en la mezcla)
Volumen de aire caliente	Aumenta (se seca más rápido el agua que está presente en la mezcla)
Sólidos de la pasta	Aumenta (hay menos agua en la pasta)
Cantidad de pasta	Aumenta
Aire en la pasta	Disminuye (hay menos pasta)

(Stadros T. 1984)

D. Requisitos básicos para el lanzamiento de un nuevo detergente en polvo

1. Validación y control de procesos: La validación y control de procesos es un aspecto crítico en un proceso, ya que si las variaciones de un proceso no se controlan adecuadamente durante la fabricación del producto, esto puede causar un efecto adverso sobre la calidad del producto. De esta manera, al identificar y producir teniendo metas y límites de acción para los parámetros claves de operación y características del producto, se logra minimizar la variación durante la producción, con lo que se logra obtener una producción consistente y una calidad homogénea del producto terminado (Davidsohn, 1953).

Las validaciones se deben realizar para asegurar que los procesos son capaces de producir consistentemente productos que satisfagan todos los parámetros establecidos para su liberación.

Para esto existen tres tipos de validaciones:

- Calificación de instalación del equipo y proceso
- Calificación de operación del equipo y proceso
- Calificación del proceso

E. Mezcladores

1. Mezcladores de pastas y materiales viscosos: Las mezclas espesas con viscosidad por encima de 10 Pa·s no se efectúan en los sistemas convencionales de mezcla con agitadores de hélice o turbina. La alta viscosidad puede deberse al mismo fluido en sí, a una alta concentración de la pasta o a las fuertes interacciones entre los componentes. El mezclado ocurre como consecuencia de rozamientos y por las tensiones de esfuerzo y no por la turbulencia. El movimiento relativo de un agitador pensiona y deforma el material, por acciones internas o por la acción de las paredes del recipiente.

Los mezcladores para materiales de alta viscosidad presentan, generalmente, una zona pequeña con alto cizallamiento (para minimizar los efectos de disipación térmica) y que permite la conducción sobre el agitador del material para que se sea introducido, nuevamente, en la zona de alto rozamiento. Es importante evitar y eliminar posibles zonas estancadas o zonas donde se propicie que el material se fije y gire alrededor de los brazos del agitador sin incorporarse a la masa del material.

La mayoría de las pastas o de las mezclas con alta viscosidad tienen un comportamiento no newtoniano, disminuyendo la viscosidad con la velocidad de corte (Perry, 2001).

A continuación se muestran los diferentes tipos de mezcladores que pueden ser utilizados para el mezclado de pastas y materiales viscosos:

a. Mezcladores por cargas:

i. Mezcladoras de recipientes intercambiables: Estos mezcladores son verticales y para operaciones por cargas, y el recipiente es una unidad reemplazable que se coloca o retira con facilidad de la máquina. Los recipientes separados permiten que las cargas se midan o pesen antes de introducirse a la mezcladora. Los recipientes cambiables son relativamente costosos. Un buen suministro de esos recipientes permite que se realice la limpieza en una sección separada (Perry, 2001).

ii. Mezcladoras de aspas helicoidales: En la actualidad existen mezcladoras helicoidales con diferentes configuraciones. El elemento de mezclado puede ser una hélice cónica o cilíndrica, o bien un tornillo sinfín ajustado al eje principal y sobre el que, además, emergen una serie de radios conectados, que tienen una superficie continua helicoidal, desde el eje hasta la periferia de la hélice (McCabe, 2002).

Una mezcladora de eje vertical helicoidal puede combinarse con un tornillo axial de menor diámetro. Estos mezcladores se utilizan en reacciones de polimerización, en las que es necesario un mezclado uniforme pero no se requiere una dispersión con una elevada tensión de corte (Perry, 2001).

iii. Mezcladoras-amasadoras de doble brazo: Consiste en dos brazos con rotación contraria, alojadas en una cámara rectangular de fondo curvo, que forman dos semicilindros longitudinales y una sección de apoyo. Las palas se impulsan mediante engranajes situados en cualquier de los extremos o en ambos. El tipo más antiguo de este dispositivo se vacía a través de una compuerta, o válvula, situada en el fondo y es utilizado, cuando se produce la descarga total o cuando no es esencial una limpieza exhaustiva entre dos cargas. Para facilitar esta descarga, se pueden inclinar estos equipos y el mecanismo basculante puede ser manual, mecánico o hidráulico (Perry, 2001).

Las palas se inclinan para lograr una circulación de extremo a extremos. Por lo general, la rotación es tal que obliga al material a descender hasta la zona de apoyo. Los espacios suelen ser muy pequeños y cercanos a 1mm. Las palas pueden ser tangenciales o con superposición. Las tangenciales funcionan con diferentes velocidades, con las ventajas de mezclado más rápido a consecuencia del cambio constante de la posición relativa, un mayor área despejada para la transferencia de calor por unidad de volumen y una menor acumulación de materiales sobre las palas. Existen varios tipos de palas, según la aplicación en la cual se empleen (Perry, 2001).

iv. Mezcladoras intensivas

ia. Mezclador Banbury: Es una mezcladora de alta intensidad, con un consumo de potencia de hasta 6.000 kW/m^3 . Se utilizan principalmente en las industrias del caucho y de los materiales plásticos (Perry, 2001).

ib. Mezcladoras de alta intensidad: Estas mezcladoras combinan una zona de alta tensión de corte con una zona con un flujo en forma de vórtice. Las palas están situadas en el fondo del recipiente, lo que permite arrastra los materiales en dirección ascendente con unas velocidades periféricas cercanas a los 40m/s. El consumo energético para esto mezcladores es alto, por lo que hasta los materiales pulverulentos se calientan con rapidez (Perry, 2001).

v. Molinos de rodillos: Los molinos de rodillos pueden proporcionar un esfuerzo cortante muy localizado y extremadamente alto, conservando una superficie extendida para el control de la temperatura. Estos molinos contienen dos rodillos paralelos montados en una bancada de manera que se puede regular de una forma precisa la presión y la distancia entre los rodillos. Estos mezcladores se utilizan para la preparación mezclas coloreadas para las industrias de recubrimientos, tintas y pinturas (Perry, 2001).

vi. Otras mezcladoras: Entre otras mezcladoras por cargas se encuentran las volumétricas, las cuales se utilizan para mezclar sólidos y para sistemas líquido sólido. También existen los mezcladores tipo guillotina, lo que se pueden utilizar en sistemas por cargas o en continuo. Con éste se produce una mezcla mayor a medida que los agitadores mezclan el lecho de sólidos (Perry, 2001).

Otro tipo de mezclador es la mezcladora de cono y tornillo sinfín., la cual utiliza la acción orbital de un tornillo helicoidal que gira sobre su propio eje para arrastrar materiales hacia la zona superior mientras gira. La inversión del sentido de giro del tornillo contribuyen a facilitar la descarga de los materiales pastosos.

b. Mezcladoras continuas:

i. Extrusora Rietz: Este extrusor, tiene placas perforadas y desviadores a lo largo del recipiente. El rotor presenta múltiples palas, espaciadas e inclinadas hacia delante, que generan una carga para efectuar la extrusión a través de la placa perforada, además de golpear el material para romper los aglomerados que se forman entre los deflectores (McCabe, 2002).

ii. Otras mezcladoras continuas: Entre otras mezcladoras continuas se encuentra la mezcladora sin movimiento, la cual es una alternativa bastante reciente en el mezclado continuo de sustancias viscosas e incluye empleo de placas deflectoras estacionarias dentro de conductos, que fuerzan a los fluidos a mezclarse

entre sí, mediante una progresiva división y recombinación que provocan la laminación con espesor decreciente hasta lograr la uniformidad (Perry, 2001).

c. Consideraciones en el diseño de procesos:

i. Escalado del rendimiento de mezclado para mezcladoras por cargas: La principal base sobre la que se ha establecido el aumento de escala para las mezcladoras por cargas ha sido la de la misma potencia por unidad de volumen, aun cuando el criterio práctico más conveniente es el de igual mezclado por unidad de tiempo. Al aumentar el tamaño, los requisitos en el diseño mecánico pueden limitar que en las mezcladoras mayores trabajen los agitadores a velocidades más bajas, por lo que el tiempo de mezclado se alargará con respecto al de los prototipos de menor tamaño (McCabe, 2002).

Las propiedades físicas de una pasta varían considerablemente durante el ciclo de mezcla, por lo que resulta mejor predecir las necesidades de una mezcladora de gran tamaño de pastas, a partir de la curva observada potencia tiempo en la mezcladora prototipo, en vez de calcular o medir todas las propiedades intermedias durante la secuencia de un proceso (McCabe, 2002).

ii. Cambio de escala para mezcladoras continuas: Para esto deben de tenerse varios factores en consideración. Por ejemplo, al aumentar la escala del equipo, cuando la semejanza geométrica sea al menos aproximada, habrá una reducción de la relación de superficie volumen. Al aumentar el tamaño, puede resultar necesario modificar la velocidad de corte o la relación de longitud a diámetro por razones de fabricación (Perry, 2001).

Es importante notar que el tiempo de retención puede controlar el rendimiento de un sistema mezclador.

2. Mezcladores para sistemas sólido-sólido: Existen varios mecanismos básicos que conducen a la mezcla de partículas sólidas, entre ellos se encuentran el movimiento aleatorio a pequeña escala (difusión), el movimiento aleatorio a gran escala (convección) y la cizalladura (Perry, 2001).

La mezcla por difusión se produce cuando las partículas se distribuyen sobre una superficie recientemente desarrollada y cuando se incrementa la movilidad de las partículas individuales. Un volteador siempre proporciona lo primero y un molino de impacto lo segundo (Perry, 2001).

A continuación se dan a conocer algunos tipos de mezcladores para sistemas sólido-sólido:

a. Volteador: Es adecuado para un mezclado suave, capaz de manejar grandes volúmenes, se limpia con facilidad. Es apropiado para polvos densos y materiales abrasivos, pero no para romper aglomerados (Perry, 2001).

b. Volteadores con rompedor de aglomerados: Existen diferentes tipos de volteadores con dispositivos rompedores de aglomerados accionados de forma independiente. El volteador puede emplearse por separado para un mezclador suave si no se requieren romper aglomerados (Perry, 2001).

c. Carcasa o artesana estacionaria: Hay ciertos tipos de mezcladores en los cuales el contenedor está inmóvil y el desplazamiento del material se realiza mediante dispositivos internos de rotación:

- Mezclador de cuchillas en cinta: este mezclador de cinta puede adaptarse tanto a operaciones discontinuas como en continuo.
- Mezclador de husillo vertical

- Molino mezclador
- De rotor doble
- De rotor simple
- Mezclador de turbina

d. Carcasa y el dispositivo interno giran: Este equipo tiene una artesa mezcladora que gira en el sentido de las agujas del reloj junto con una herramienta mezcladora que gira en sentido antihorario, y excéntrico a la artesa (Perry, 2001).

3. Características de operación que deben tener los mezcladores de un sistema sólido-sólidos: Para poder elegir los equipos para la mezcla de sólidos se debe realizar un estudio cuidadoso de algunas de las características de operación que se muestran a continuación (Perry, 2001).

a. Uniformidad de la muestra: El mezclador debe escogerse para asegurar una adecuada homogeneidad para el lote. Además debe tenerse cuidado especial en evitar un mezclado excesivamente largo, ya que a veces esto resulta en una mezcla de peor calidad (Perry, 2001).

b. Tiempo de mezclado: El tiempo de mezclado de un lote usualmente es inferior a 15 minutos. En algunos casos se toleran tiempos mayores para evitar el coste de adquirir equipos más eficientes (Perry, 2001).

c. Carga y descarga: Para obtener las condiciones óptimas de carga y descarga debe tenerse en cuenta todo el sistema de manejo (Perry, 2001).

d. Potencia: Normalmente, esta es la principal variable para elegir los mezcladores. Sin embargo, debe aplicarse suficiente potencia para soportar los momentos de máximo requerimiento, como pueden ser los cambios durante la operación de mezclado. Igualmente, cuando se requieren mezclas diferentes, la potencia debe ser suficiente para los materiales más densos. Si el mezclador, cargado, debe arrancar desde cero, debe tener suficiente potencia para hacerlo. Además, si se requiere que la velocidad pueda controlarse, debe tenerse en cuenta al calcular el requerimiento de potencia (McCabe, 2002).

e. Limpieza: El mezclador debe de ser de fácil limpieza. Los recipientes simples son fáciles de limpiar siempre que tengan las aberturas adecuadas. Las áreas que pueden presentar problemas son: los sellos, las grietas en los soportes de los deflectores, cualquier rincón y los dispositivos de descarga (Perry, 2001).

f. Formación de polvo: Las pérdidas de polvo pueden afectar de forma importante la composición de un lote, especialmente cuando la pérdida corresponde a componentes minoritario. Para evitar la formación de polvo se pueden emplear los siguientes pasos:

- Utilizar ingredientes menos purulentos
- Ventilación suficiente para permitir la filtración del aire, en vez de perder una indeterminada cantidad da aire polvoriento
- Carga y descarga del mezclador por dispositivos herméticos
- Adición de líquidos.

(Perry R. 2001)

g. Métodos de adición de líquidos: La finalidad del líquido debe ser tomada en cuenta así como también su viscosidad. El líquido se debe dirigir hacia los sólidos y no a la superficie libre del mezclador, ya que esto podría provocar acumulación. La presión de la boquilla tiene que ser suficiente para que penetre en el sólido, pero no tan alta como para producir salpicaduras. El líquido debe de ser agregado a la mezcla, una vez se tenga un mezclado adecuado.

F. Bombas

1. Bombas de desplazamiento positivo: Las bombas se clasifican en bombas de desplazamiento positivo y en bombas centrífugas. La primera de éstas se utiliza en lugar de las centrífugas por costo, no sólo inicial sino total, energía y mantenimiento. Su eficiencia mecánica es de 85 a 94%. Las pérdidas que presenta son de aproximadamente 10%, las cuales se dan en las bandas, engranajes, cojinetes, empaquetaduras y válvulas.

En el caso de las bombas de desplazamiento positivo, la capacidad es función de la velocidad y es casi independiente de la presión de descarga. Para elegir entre una bomba de desplazamiento positivo y una bomba centrífuga, se puede observar la figura No. 6.

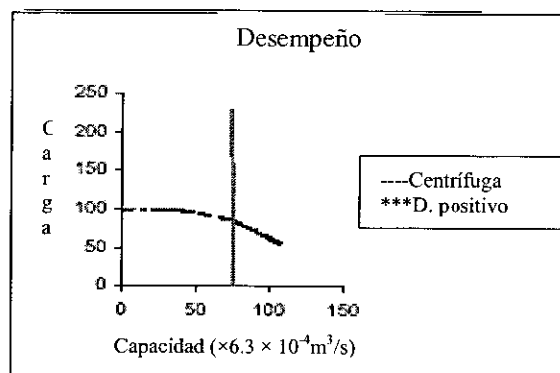


Figura No.6: Diagrama de desempeño de una bomba centrífuga y una bomba de desplazamiento positivo

Como se puede observar en la figura 6, se puede notar la diferencia entre ambos tipos de bombas. Las bombas centrífugas poseen diferente flujo, dependiendo de en la cabeza de presión, mientras que las bombas de presión positiva poseen un flujo más constante con respecto a la presión.

Otra diferencia entre estos tipos de bombas es el efecto que tiene la viscosidad en la capacidad de la bomba. Como se puede observar en la figura 7, la bomba centrífuga pierde flujo mientras mayor es la viscosidad, mientras que la bomba de desplazamiento positivo aumenta el flujo.

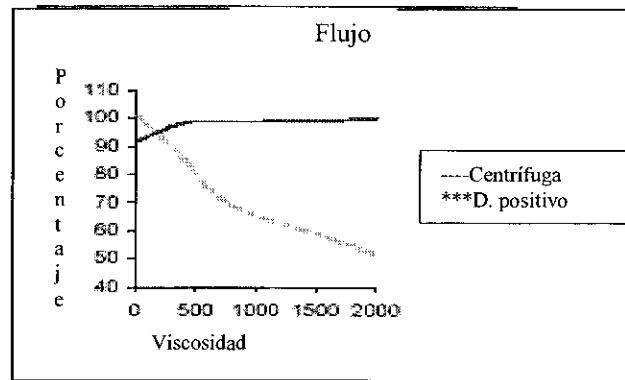


Figura No. 7: comportamiento del flujo de un líquido en una bomba al variarse la viscosidad

Las bombas también se comportan de manera diferente cuando se toma en consideración la eficiencia mecánica, ya que por ejemplo, los cambios en presión tienen poco efecto en la eficiencia de la bomba de desplazamiento positivo, mientras que en las bombas centrífugas el efecto es mayor como se puede observar en la figura No. 8.

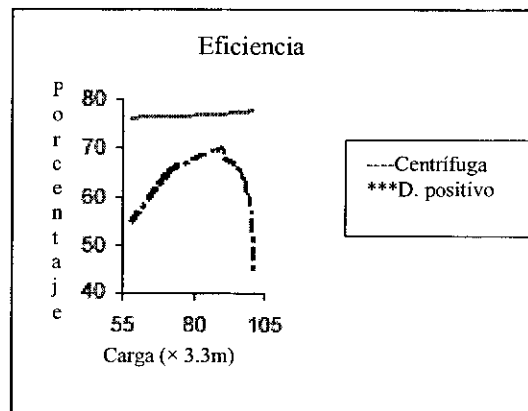


Figura No.8: efecto de la presión en la eficiencia de las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo

Otra consideración a tomarse en cuenta es el valor de NPSH. En una bomba centrífuga varía éste en función del flujo, el cual es determinado por la presión. En una bomba de desplazamiento (DP) positivo varía como función del flujo, el cual es determinado por la velocidad. Mientras más baja es la velocidad en la bomba de DP, menor será el valor de NPSH (Perry, 2001).

Como se puede observar en la figura No. 8, en el centro de la curva trabaja mejor la bomba centrífuga. Sin embargo, mientras más se mueva uno en la curva hacia la derecha o izquierda, se reduce la vida de la bomba; debido a una deflexión del eje o por una cavitación creciente. En una bomba DP se puede operar en cambio en cualquier punto de la curva. En efecto, la eficiencia volumétrica como un porcentaje actual, mejora a partes de la curva, en donde hay altas velocidades (Perry, 2001).

A continuación se dan a conocer otros factores a tomar en consideración para elegir una bomba:

- Las bombas de DP se utilizan para altas viscosidades, ya que se las bombas centrífugas se son ineficientes mientras más aumenta la viscosidad .

- Las bombas DP tienden a utilizarse a menores velocidades que las centrífugas. Esto va a tener impacto en la vida del sello, por lo que los sellos de una bomba DP duran más que en el caso de las bombas centrífugas.

Como lo indica la definición, las bombas de desplazamiento positivo desplazan una conocida cantidad de líquido con cada revolución de los elementos de la ésta (engranajes, rotores, tornillos, etc.) las bombas desplazan líquido al crear un espacio entre los elemento de las bombas, en donde quedará atrapado el líquido. La rotación de los elementos internos de la bomba, reducen el tamaño del espacio y mueven el líquido fuera de la bomba. Las bombas de desplazamiento positivo pueden manejar fluidos de viscosidades superiores a 1,320,000cST/6,000,000 SSU.

Las bombas de desplazamiento positivo se dividen en:

- Rotatorias: Entre las rotatorias se encuentran las de múltiple rotor (lóbulo, de pistón circunferencial, de tornillo, de engranajes) y las de simple rotor (de pistón, de cavidad progresiva, de tornillo, peristálticas).
- Reciprocantes: Éstas se dividen en bombas de diafragma y de pistón.

A continuación se describen algunas bombas de desplazamiento positivo:

- De engranaje interno: Estas acarrear el fluido entre los dientes del engranaje de la parte interna a la parte externa. El engranaje externo (rotor) mueve el rotor interno sobre un pin. El líquido es trasladado de la parte interna de la bomba hacia fuera cuando el volumen de la cavidad en el que se encuentra se reduce, por lo que el líquido se ve forzado hacia la descarga.

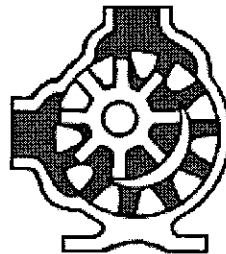


Figura No. 9: bomba de engranaje interno

- De engranaje externo: estas bombas también emplean engranajes. El líquido luego de ingresado a la bomba, es transportado por los dientes del engranaje, para luego ser expulsado hacia la descarga. Este tipo de bombas rotan dos engranajes uno en contra del otro, los cuales se encuentran sobre un eje, tal y como se muestra en la figura 10.

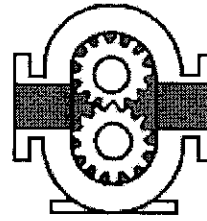


Figura No.10: Bomba de engranajes externos

- De lóbulo: El fluido es acarreado entre los dientes del rotor y la cámara de bombeo. La superficie del rotor crea un sello continuo. Ambos engranajes están sincronizados por engranajes de tiempo.

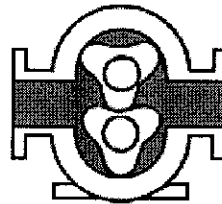


Figura No.11: Bomba de lóbulos

- Bombas de Pistón circumferencial : En éstas el fluido se traslada de la entrada hacia la salida entre los espacios que existen en medio de las superficies de los pistones. Los rotores deben de estar programados con el tiempo y cada rotor debe tener una o más elementos de pistón.

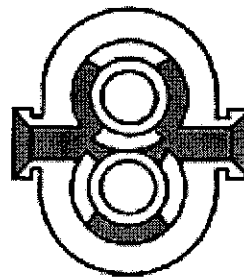


Figura No.12: Bomba de pistón circumferencial

III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, se busca aumentar las eficiencias de producción en todas las áreas industriales; muchos procesos han ido cambiando para evitar el gasto en etapas con costos de producción considerables y que reducen los márgenes de ganancia de las empresas.

En el caso de la fabricación de detergente en polvo, lo normal es emplear una torre de secado por aspersión para poder obtener el detergente. Este proceso comienza con la reacción de neutralización, que se da entre el ácido dodecibencensulfónico y la soda cáustica, y que sirve para generar el ingrediente activo; luego de esto, se agregan otros materiales y agua, a modo de formar una pasta que pueda bombearse desde los niveles inferiores de la planta hasta la parte superior de la torre de secado y produzca las características en el detergente. En la parte superior, las torres cuentan con boquillas especialmente diseñadas, para aprovechar la alta presión de bombeo y formar así una neblina de la pasta, que dentro de la torre se seca, debido al aire caliente que entra en contracorriente con la neblina de la pasta.

Luego de secado el detergente, ya se encuentra en forma de polvo granular, al cual se le da el color buscado, y se le agregan otros materiales que sean sensibles al calentamiento que experimenta en la torre, como perfume o enzimas; este proceso se denomina en muchos casos postadición, y requiere de un sistema automatizado continuo, para que la exactitud en la adición sea la requerida, ya que estos materiales usualmente se encuentran concentrados, por lo que se agregan en pequeñas cantidades.

Como es de suponerse, el secado es determinante en el costo del producto, ya que emplea una fuente considerable de energía tanto para el bombeo a alta presión, como para el calentamiento del aire que seca al detergente en la torre y el transporte de las cantidades adecuadas de aire en función de la pasta a secar.

Pero la torre de secado por aspersión no representa únicamente un aspecto económico a tomar en cuenta, sino que también representa un problema de seguridad industrial, debido a los compuestos y temperatura que se manejan; y una fuente de contaminación para el medio ambiente, dado que se necesita quemar combustible para generar energía, ya que el producto es un polvo, que al ser golpeado puede desprender partículas muy pequeñas, que son consideradas como contaminantes serios del aire en áreas industriales.

Es por esto, que se ha planteado como objetivo el desarrollar un proceso de fabricación de detergente en polvo, que no conlleve la utilización de una torre de secado por aspersión, con lo que se obtendrán beneficios considerables en lo económico, en lo ambiental y en la seguridad industrial.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un proceso de fabricación de detergente en polvo que emplee una generación de ingrediente activo en fase sólida, disminuyendo la utilización de recursos, incrementando el margen de utilidad de la producción y manteniendo la calidad requerida por los consumidores.

B. Objetivos específicos

1. Desarrollar una fórmula experimental que permita la generación del ingrediente activo en fase sólida, cumpliendo con los parámetros de calidad requeridos por el mercado.
2. Comprobar experimentalmente a nivel laboratorio, el funcionamiento de la fórmula desarrollada.
3. Determinar la robustez de la fórmula por medio de añejamientos de las pruebas realizadas.
4. Diseñar para una producción determinada, el equipo necesario para producir las reacciones deseadas, mezclar los componentes y llevar el producto terminado hasta estar listo para ingresar a las llenadoras.
5. Realizar un análisis de los costos de inversión y producción para la fórmula desarrollada.

V. PROBLEMA

En la fabricación de detergentes se combinan la calidad y el precio como principales promotores de las ventas y utilidades obtenidas. La calidad se refiere a la cualidad del detergente de suspender las manchas y suciedades en agua y no dejar que se redepositen en la ropa, a la vez que se obtienen prendas con un olor y color satisfactorios; todo esto se traduce a mediciones de humedad, concentraciones de aditivos e ingrediente activo, y mediciones de la cantidad de blanqueador óptico utilizado. Mientras tanto, el precio se define por medio de análisis de costos, basándose en costos de producción, costos de materiales, costos indirectos y utilidades.

Sin embargo, actualmente la gran cantidad de competidores obligan a la disminución de precios, para mantener el mercado objetivo. Debido a esto, es importante reducir costos sin bajar la calidad del producto final.

VI. METODOLOGÍA

Para lograr resolver el problema planteado, cumplir tanto con los objetivos específicos como los objetivos generales, se requiere realizar el siguiente método de trabajo. Es importante resaltar que para poder asegurar la calidad y funcionamiento de la alternativa propuesta para la fabricación de detergente en polvo, se deben hacer pruebas piloto en laboratorio.

- A. Establecer los parámetros requeridos para la producción de detergente en polvo por el método alternativo propuesto (humedad, densidad, IA, fosfatos y aglomeración por compresión).
- B. Generar varias fórmulas para obtener detergente en polvo, para lo que se realizarán balances de materia para cada una de éstas.
- C. Con la fórmula elegida, se realizarán pruebas piloto a escala laboratorio, para comprobar, por métodos analíticos, cual de las fórmulas es factible emplear para la fabricación de detergente en polvo, las cuales deben cumplir con los parámetros establecidos en el inciso A.
- D. Comprobar por medio de pruebas de laboratorio la robustez de las fórmulas propuestas y la calidad de las mismas luego de un tiempo de almacenaje a condiciones críticas.
- E. Elegir la fórmula que cumpla mejor con los parámetros propuestos en el inciso A y que tenga mayor robustez.
- F. Diseñar el equipo necesario para producir la fórmula elegida sin necesidad de emplear una torre de secado por aspersión.
- G. Evaluar los costos de equipo a construir, la recuperación de inversión y el margen de utilidad luego de recuperada la misma.
- H. Comparar el método tradicional empleado para la producción de detergente en polvo con el método alternativo propuesto (costos, menor empleo de contaminantes para el medio ambiente, etc.).

VII. RESULTADOS

A. Fórmula propuesta

Tabla No.7: Resultados obtenidos para las fórmulas propuestas con variación de porcentajes (m/m) de adición de materiales en la postadición

Compuesto a agregar	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	Fórmula 4	Fórmula 5
Base					
Soda ash	12.00%	12.00%	12.00%	12.00%	12.00%
Ácido sulfónico lineal	15%	15%	15%	15%	15%
Silicato de sodio	11%	11%	11%	11%	11%
Postadición					
Soda ash	36.20%	33.70%	31.20%	28.70%	26.20%
STPP	15%	15%	15%	15%	15%
Sulfato de sodio	10%	13%	15%	18%	20%
Perfume	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%
BH	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%
Tinopal líquido	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%
Enzimas	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Compuesto a agregar	Fórmula 6	Fórmula 7	Fórmula 8	Fórmula 9	Fórmula 10
Base					
Soda ash	12.00%	12.00%	12.00%	12.00%	12.00%
Ácido sulfónico lineal	15%	15%	15%	15%	15%
Silicato de sodio	11%	11%	11%	11%	11%
Postadición					
Soda ash	23.70%	21.20%	18.70%	16.20%	13.70%
STPP	15%	15%	15%	15%	15%
Sulfato de sodio	23%	25%	28%	30%	33%
Perfume	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%
BH	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%
Tinopal líquido	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%
Enzimas	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Tabla No.8: Resultados obtenidos para los análisis fisicoquímicos realizados con las fórmulas propuestas, un día después de la producción

	Fórmula 1		Fórmula 2		Fórmula 3		Fórmula 4		Fórmula 5	
Ingrediente Activo (% m/m)	15.23%	±0.085%	15.85%	±0.077%	15.06%	±0.087%	15.75%	±0.082%	15.47%	±0.077%
STPP como P ₂ O ₅ (% m/m)	9.91%	±0.00088%	10.33%	±0.00086%	9.77%	±0.00088%	10.97%	±0.00084%	10.36%	±0.00086%
Savinasa (mg Activos/100g)	6.28	±0.0194	5.93	±0.0198	5.03	±0.021	5.47	±0.0205	5.77	±0.020
Humedad (% m/m)	8.18%	±0.01%	8.56%	±0.01%	8.66%	±0.01%	9.32%	±0.01%	8.31%	±0.01%
Densidad del producto envasado (g/L)	423.1	±0.018	439.6	±0.018	451.1	±0.018	474.9	±0.018	484.0	±0.018
Coefficiente de compresibilidad (N)	6.24	±0.01	5.03	±0.01	3.35	±0.01	2.54	±0.01	1.85	±0.01
pH	10.52	-	10.48	-	10.26	-	10.32	-	10.43	-
JBFT	7		7		7		7		8	
Abriantador	Aceptado		Aceptado		Aceptado		Aceptado		Aceptado	
Apariencia	Inaceptable		Inaceptable		Aceptado		Aceptado		Aceptado	
Olor	1.0		3.0		3.0		4.0		5.0	

	Fórmula 6		Fórmula 7		Fórmula 8		Fórmula 9		Fórmula 10	
Ingrediente Activo (% m/m)	16.03%	±0.073%	15.65%	±0.077%	15.23%	±0.088%	14.06%	±0.087%	14.95%	±0.088%
STPP como P ₂ O ₅ (% m/m)	10.91%	±0.00084%	10.90%	±0.00084%	10.96%	±0.00084%	±11.78%	±0.00082%	10.59%	±0.00085%
Savinasa (mg Activos/100g)	6.29	±0.019	6.70	±0.019	6.11	±0.019	5.22	±0.021	5.49	±0.0205
Humedad (% m/m)	8.64%	±0.01%	8.18%	±0.01%	8.20%	±0.01%	9.27%	±0.01%	8.46%	±0.01%
Densidad del producto envasado (g/L)	491.0	±0.018	505.5	±0.018	527.6	±0.018	552.9	±0.018	595.3	±0.018
Coefficiente de compresibilidad (N)	1.56	±0.01	1.45	±0.01	1.36	±0.01	1.08	±0.01	0.96	±0.01
pH	10.62	-	10.59	-	10.78	-	10.94	-	11.06	-
JBFT	8		7		8		7		7	
Abriantador	Aceptado		Aceptado		Aceptado		Aceptado		Aceptado	
Apariencia	Aceptado		Aceptado		Inaceptable		Inaceptable		Inaceptable	
Olor	5.0		4.0		2.0		2.0		1.0	

Tabla No.9: Resultados obtenidos para los análisis fisicoquímicos realizados con las fórmulas propuestas, luego del añejamiento realizado a temperatura ambiente

	Fórmula 1		Fórmula 2		Fórmula 3		Fórmula 4		Fórmula 5	
Ingrediente Activo (% m/m)	15.34%	±0.088%	15.63%	±0.086%	14.65%	±0.081%	15.27%	±0.085%	15.97%	±0.084%
STPP como P ₂ O ₅ (% m/m)	10.03%	±0.00087%	9.91%	±0.00087%	9.63%	±0.00089%	10.83%	±0.00084%	10.25%	±0.00086%
Savina (mg Activos/100g)	6.14	±0.0195	5.42	±0.0205	4.51	±0.0227	5.27	±0.0208	5.01	±0.0214
Humedad (% m/m)	9.21%	±0.01%	9.44%	±0.01%	9.62%	±0.01%	9.87%	±0.01%	9.27%	±0.01%
Densidad del producto empacado (g/L)	441.5	±0.018	463.7	±0.018	459.9	±0.018	487.4	±0.018	498.5	±0.018
Coefficiente de compresibilidad (N)	6.07	±0.01	4.87	±0.01	3.26	±0.01	2.32	±0.01	1.52	±0.01
pH	10.23	-	10.06	-	9.89	-	9.97	-	10.05	-
JBFT	7		7		7		7		8	
Abrillantador	Acceptado		Acceptado		Acceptado		Acceptado		Acceptado	
Apariencia	Inaceptable		Inaceptable		Inaceptable		Acceptado		Acceptado	
Olor	1.0		1.0		2.0		3.0		4.5	

	Fórmula 6		Fórmula 7		Fórmula 8		Fórmula 9		Fórmula 10	
Ingrediente Activo (% m/m)	14.97%	±0.087%	15.60%	±0.078%	14.57%	±0.086%	14.06%	±0.078%	13.96%	±0.077%
STPP como P ₂ O ₅ (% m/m)	10.13%	±0.00087%	9.92%	±0.00087%	10.53%	±0.00085%	10.96%	±0.00084%	11.19%	±0.00083%
Savina (mg Activos/100g)	6.12	±0.0196	6.42	±0.0192	5.88	±0.0199	5.03	±0.0213	5.13	±0.0211
Humedad (% m/m)	9.78%	±0.01%	9.12%	±0.01%	9.38%	±0.01%	10.02%	±0.01%	9.88%	±0.01%
Densidad del producto empacado (g/L)	505.1	±0.018	519.2	±0.018	542.9	±0.018	564.8	±0.018	604.7	±0.018
Coefficiente de compresibilidad (N)	1.32	±0.01	1.29	±0.01	1.23	±0.01	0.93	±0.01	0.79	±0.01
pH	9.92	-	9.81	-	9.59	-	9.76	-	9.39	-
JBFT	7		7		7		7		7	
Abrillantador	Acceptado		Acceptado		Acceptado		Acceptado		Acceptado	
Apariencia	Acceptado		Inaceptable		Inaceptable		Inaceptable		Inaceptable	
Olor	4.5		3.0		1.0		1.0		1.0	

B. Resultados de diseño

Tabla No. 10: Resultados analíticos obtenidos para la Fórmula No.5, por medio de los añejamientos realizados

Análisis a realizar	Muestra de analizada un día después de la producción	Muestra del añejamiento realizado a condiciones de temperatura ambiente	Muestra del añejamiento realizado a condiciones de temperatura baja (5°C)	Muestra del añejamiento realizado a condiciones de temperatura alta (43°C)	Muestra del añejamiento realizado a condiciones de exposición solar
Ingrediente activo (% m/m)	15.47%	15.97%	15.25%	15.69%	15.92%
STPP como P ₂ O ₅ (% m/m)	10.361%	10.245%	10.382%	10.274%	10.362%
Saviasa (mg activos/100g)	5.77	5.01	5.10	4.92	5.20
Humedad (% m/m)	8.31%	9.27%	8.89%	9.16%	8.37%
Densidad del producto empacado (g/L)	484.03	498.50	511.58	493.33	491.54
Coefficiente de compresibilidad (N)	1.85	1.52	1.57	1.93	1.32
pH	10.43	10.05	10.84	10.38	10.96
JBFT	8	8	7	8	7
Abrillantador	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Apariencia	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Olor	5	4.5	5	4	3.5

Tabla No. 11: Resultados obtenidos del diseño del mezclador sigma empleado para la producción de detergente en polvo

Símbolo	Descripción	Volumen (m ³)	Potencia (kW)	Espacio ocupado (m)	Potencia del mezclador para una $\eta=75\%$ (kW)
M-1	MEZCLADOR SIGMA DE ACERO INOXIDABLE 316	2.27	130.5	3.66 x 4.88	223.71

Tabla No. 12: Resultados obtenidos del diseño de tornillos empleados para la dosificación de materiales como sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico (STPP) y soda ash densa

Símbolo	Descripción	Diámetro del tornillo (m)	Capacidad (m ³ /h) a 1 rpm	Capacidad (m ³ /h) a max. rpm	Área que ocupa el material en el tornillo	Longitud del tornillo (m)	Potencia del motor (kW)
A-1	TORNILLO DOSIFICADOR DE SULFATO DE SODIO DE ACERO INOXIDABLE 316	0.23	0.16	7.93	30%	4.6	0.32
A-2	TORNILLO DOSIFICADOR DE STPP DE ACERO INOXIDABLE 316	0.23	0.16	7.93	30%	4.6	0.32
A-3	TORNILLO DOSIFICADOR DE SODA ASH DENSA DE ACERO INOXIDABLE 316	0.23	0.16	7.93	30%	4.6	0.32

Tabla No. 13: Resultados obtenidos del diseño de tanques empleados para el almacenamiento de materiales como sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico (STPP) y soda ash densa

Símbolo	Descripción	Volumen del tanque (m ³) *	Radio (r ₁) del tanque en (m)	Radio (r ₂) del tanque en (m)	Altura (h ₁) del tanque en (m)	Soportería
D-1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SULFATO DE SODIO DE ACERO INOXIDABLE 316	0.99	0.96	0.115	0.9	Soportes de 0.1 m de ancho
D-2	TANQUE DE ALMACENAMIENTO STPP DE ACERO INOXIDABLE 316	0.74	0.87	0.115	0.8	Soportes de 0.1 m de ancho
D-3	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SODA ASH Densa DE ACERO INOXIDABLE 316	2.23	1.18	0.115	1.4	Soportes de 0.1 m de ancho
D-4	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFÓNICO DE ACERO INOXIDABLE 316	0.2	0.45	-	0.68	Soportes de 0.1 m de ancho
D-5	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PERFUME DE ACERO INOXIDABLE 316	0.44	0.4	-	0.4	Soportes de 0.03 m de ancho

* Calculado a para una capacidad de almacenamiento de 2 horas

Tabla No. 14: Resultados obtenidos del diseño de la bomba de ácido sulfónico empleada para la dosificación de este materia en el mezclador

Símbolo	Descripción	Caja de presión en la bomba (kPa)	Flujo de la bomba (m ³ /h)	Frecuencia (rpm)	Potencia de la bomba (kW)
P-1	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DE ENGRANAJES PARA DOSIFICACIÓN DE ÁCIDO SULFÓNICO, DE ACERO INOXIDABLE 316	2068	0.02	300	1.49

Tabla No. 15: Resultados obtenidos del diseño de toberas empleadas para la aspersión de ácido sulfónico y perfume

Símbolo	Descripción	Tamaño de orificio (m)	Diámetro de la carcasa de la tobera (m)	Largo de la tobera (m)	Diámetro del inserto (m)	Orificio del inserto (m)	Largo del inserto (m)
T-1	TOBERA DE ÁCIDO SULFÓNICO DE ACERO INOXIDABLE 316	0.001	0.0254	0.1	0.0127	0.002	0.03
T-2	TOBERA DE PERFUME DE ACERO INOXIDABLE 316	0.001	0.0254	0.1	0.0127	0.002	0.03

Tabla No. 16: Resultados obtenidos del diseño de recipientes de almacenamiento temporal para detergente en polvo

Símbolo	Descripción	Volumen del recipiente (m ³)	Altura del recipiente (m)	Largo del recipiente (m)
TT-1	RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE LONA CON RODOS	2	2.06	1.03

C. Resultados de costos de producción actuales y de la fórmula desarrollada

Tabla No. 17: Resultados obtenidos del costo del diseño de equipo para la fabricación de detergente en polvo

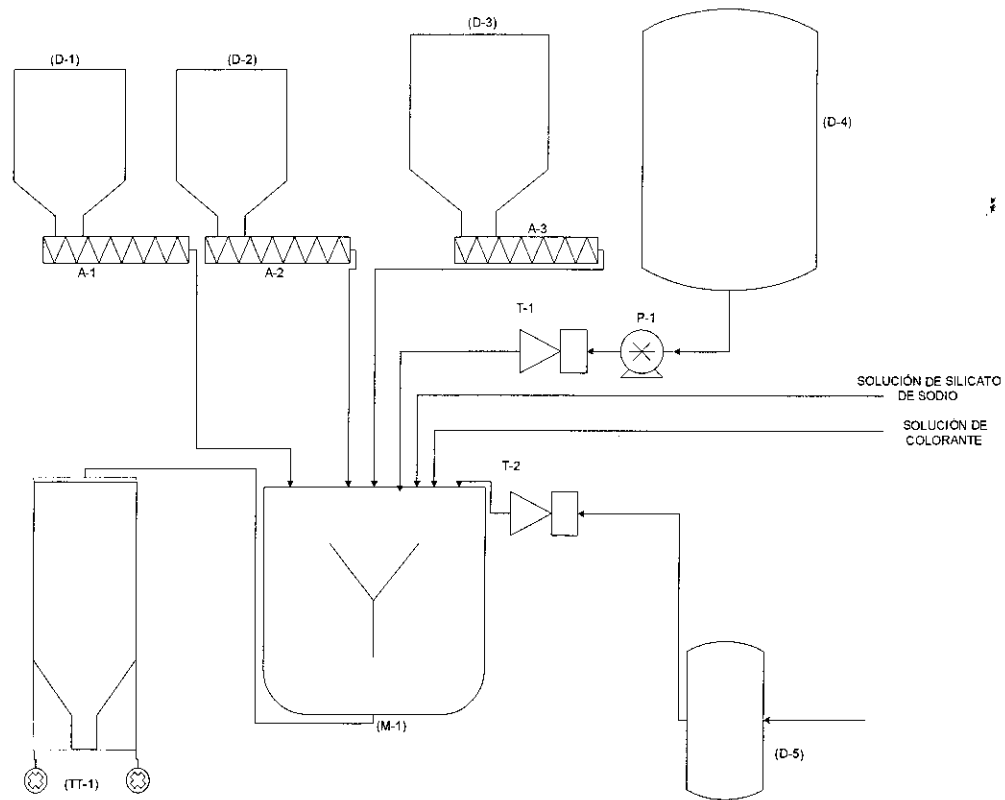
	EQUIPO			
	DESCRIPCIÓN	Número	Costo total de módulo simple C _{eq} sw	Total
DOSIFICADORES DE TORNILLO (SIN IMPULSOR) DE ACERO INOXIDABLE	TORNILLO DOSIFICADOR DE SULFATO DE SODIO	A-1	Q 45,335.37	Q 136,006.10
	TORNILLO DOSIFICADOR DE STPP	A-2	Q 45,335.37	
	TORNILLO DOSIFICADOR DE SODA ASH DENSA	A-3	Q 45,335.37	
IMPULSORES DE TORNILLOS DOSIFICADORES	IMPULSOR DE TORNILLO DOSIFICADOR DE SULFATO DE SODIO	A-1	Q 11,333.84	Q 34,001.52
	IMPULSOR DE TORNILLO DOSIFICADOR DE STPP	A-2	Q 11,333.84	
	IMPULSOR DE TORNILLO DOSIFICADOR DE SODA ASH DENSA	A-3	Q 11,333.84	
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SULFATO DE SODIO	D-1	Q 337,954.54	Q 1,768,903.52
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO STPP	D-2	Q 329,505.68	
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SDDA ASH DENSA	D-3	Q 718,153.40	
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ÁCIDO SULFÓNICO	D-4	Q 340,015.24	
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PERFUME	D-5	Q 43,274.67	

Tabla No. 18: Resultados obtenidos del costo del diseño de equipo para la fabricación de detergente en polvo

	EQUIPO			
	DESCRIPCIÓN	Número	Costo total de módulo simple C _{DM} ^{CS}	Total
MEZCLAODR	MEZCLADOR SIGMA	M-1	Q 1,545,523.81	Q 1,545,523.81
BOMBAS	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	P-1	Q 48,272.00	Q 48,272.00
TOBERAS	TOBERA DE ÁCIDO SULFÓNICO	T-1	Q 2,000.00	Q 4,000.00
	TOBERA DE PERFUME	T-2	Q 2,000.00	
RECIPIENTES	RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL	TT-1	Q 500.00	Q 10,000.00
MÓDULO SIMPLE, TOTAL				Q 3,546,706.95
IMPREVISTOS Y HONORARIOS				Q 638,407.25
COSTO DE MÓDULO, TOTAL				Q 4,185,114.20
INSTALACIONES AUXILIARES				Q 1,255,534.26
CAPITAL BÁSICO				Q 5,440,648.46

Tabla No. 19: Resultados obtenidos para la estimación del tiempo necesario para la recuperación de la inversión utilizada en la implementación del proyecto

Costos Totales unitarios de la fórmula actual (Q./kg)	Q 3.76
Costo total unitario de la fórmula propuesta (Q./kg)	Q 2.86
Ahorro promedio con la fórmula propuesta (Q./kg)	Q 0.90
Tiempo estimado de recuperación de la inversión (meses)	10.4
Tiempo estimado de recuperación de la inversión (años)	0.9
Beneficios totales obtenidos durante los próximos cinco años con el empleo del proceso propuesto	Q 37,757,683.43



Símbolo	Descripción
A-1	TORNILLO DOSIFICADOR DE SULFATO DE SODIO
A-2	TORNILLO DOSIFICADOR DE STPP
A-3	TORNILLO DOSIFICADOR DE SODA ASH DENSA
D-1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SULFATO DE SODIO
D-2	TANQUE DE ALMACENAMIENTO STPP
D-3	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SODA ASH DENSA
D-4	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFÓNICO
D-5	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PERFUME
M-1	MEZCLADOR SIGMA
P-1	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DE ENGRANAJES
T-1	TOBERA DE ACIDO SULFÓNICO
T-2	TOBERA DE PERFUME
TT-1	RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL CON RODOS

Figura No.13: Diagrama del proceso diseñado para la producción de detergente polvo en fase sólida

VIII. DISCUSIÓN

El diseño de un proceso nuevo para la fabricación de detergentes, involucra varios estudios que deben llevarse a cabo, para garantizar que el producto obtenido, es lo que el cliente requiere. De este modo, es necesario efectuar principalmente tres tipos de estudios, que definen la necesidad de otras evaluaciones, y al mismo tiempo proporcionan datos preliminares sobre los beneficios y desventajas del proceso. Estos estudios son: el técnico, el económico y el de Mercado.

El estudio de mercado no se analiza en este trabajo, dado que los requerimientos traducidos a parámetros medibles, que los clientes necesitan, son los que se muestran en las Tablas No. 20 y No.21. Éstos fueron definidos previamente por el departamento interno de mercadeo, dado que la empresa en la que se realizó el estudio, ya tiene una estrategia sentada para la venta del detergente y estudios que definen lo buscado del producto final.

Por el lado de la parte técnica, puede afirmarse a partir de las pruebas realizadas en el laboratorio, que el proyecto es factible y presenta ventajas de control del proceso a realizar. Esto puede determinarse a partir de los resultados mostrados en las Tablas No. 7 a la 22, donde se encuentran las pruebas realizadas a escala laboratorio, los resultados analíticos obtenidos para las mismas y el diseño de los equipos a utilizar en el proceso desarrollado.

En estos resultados, cabe resaltar la forma en la que se escoge la fórmula que ha de emplearse en la producción. Para este caso, deben de proponerse varias fórmulas posibles, en dependencia de los materiales que cambien las propiedades de control del detergente. Tal y como se observa en la Tabla No. 7, la variación de materiales no se efectúa en ninguno de aquellos, que influya directamente sobre el porcentaje de ingrediente activo del detergente, dado que ésta es la característica clave exigida por el mercado, y se trata de jugar con las otras variables, a modo que produzcan valores lo más cercano posibles a las otras características clave del producto.

De modo, que al dejar el porcentaje de ingrediente activo fijo, también se estaría fijando automáticamente cada uno de los ingredientes de la base. Entonces, es necesario variar los porcentajes de ingredientes de la postadición, a modo de poder obtener los mejores resultados en lo que se refiere a los parámetros clave del producto final. Sin embargo, no pueden variarse todos los materiales en proporciones diferentes hasta alcanzar el valor deseado, ya que las combinaciones serían demasiado grandes; por lo tanto, deben fijarse los porcentajes de otros materiales que se encuentren definidos, por las características clave del producto, fijadas en la Tablas No.20 y No. 22.

De los materiales de la postadición, los más sencillos de fijar, son el perfume, el Tinopal, el abrillantador óptico y las enzimas. Los primeros tres, son líquidos, cuya evaluación en el producto final se llevan a cabo por medio de pruebas cualitativas, que expresan un grado de conformidad o inconformidad del producto, por lo que basándose en los porcentajes actuales de la fórmula, pueden fijarse con valores muy parecidos (para garantizar la confidencialidad de los datos), los porcentajes a agregar de estos compuestos. Y en lo que se refiere a las enzimas, debe mencionarse que éstas se agregan en ambos proceso al final, para evitar que puedan reaccionar o degradarse, por lo que asumiendo que el proceso no permanecerá dentro del rango de

temperaturas que soportan las enzimas (Savinasa), el porcentaje puede fijarse igual que en el caso de los líquidos, a partir de la fórmula empleada actualmente.

Ahora bien, en lo que respecta al STPP, este debe de permanecer por debajo del 20% (m/m), ya que de lo contrario se rebasarán los límites de fosfatos permisibles, que podrían hacer del detergente un serio contaminante que cambie la flora de los lugares en que se descargan las aguas de lavado, esto dado que las concentraciones altas de fosfatos, son un contaminante y un medio propicio para el desarrollo de algas en los medios acuosos. De este modo, buscando los valores mostrados en la Tabla No.21, se puede fijar este porcentaje con una aproximación parecida a la de los otros materiales.

Los materiales sobrantes, que son el carbonato de sodio (Soda Ash) y el Sulfato de sodio, teóricamente no afectan en ninguno de los valores de control, más que variando los porcentajes de humedad totales y cambiando la granulometría del detergente, que a su vez cambia la densidad, por lo que deben de obtenerse resultados de la variación de estos materiales. Luego de efectuadas las producciones con diferentes cantidades de estos materiales postadicionados, deben identificarse analíticamente las fórmulas que cumplan de mejor manera con los parámetros de calidad requeridos, de modo que realizando los análisis con métodos certificados por la empresa en la que se efectuaron los estudios, pueden establecerse las posibles alternativas en fórmula con las que se cuenta.

Entonces, teniendo fórmulas definidas que podrían funcionar a nivel de planta, se sigue el protocolo definido por la empresa para el desarrollo de fórmulas de detergentes, según el cual es necesario el añejar las diferentes fórmulas propuestas en condiciones extremas. Al hacer esto siempre se deja una muestra de control a temperatura ambiente y en oscuro, que será determinante en el caso de que se cuente con varias fórmulas, como el procedimiento realizado en el estudio efectuado; esto porque por medio de los resultados analíticos que se obtengan de estas muestras de control, se decide la fórmula que habrá de emplearse, ya que el almacenaje a condiciones de temperatura ambiente debería ser la condición más leve que la fórmula tendría que soportar.

En el caso de los datos mostrados en las Tablas No 7 a la 9, debe de mencionarse, que reafirman el propósito de las variaciones buscadas en los parámetros clave y de control, ya que los porcentajes de ingrediente activo, fosfatos y enzimas no presentan una variación marcada. Sin embargo, en este caso se produjo un resultado analítico inesperado, y es que muchos de los parámetros de control cambiaron en dependencia de la fórmula. De modo que mientras la densidad aumenta conforme mayor cantidad de sulfato de sodio se tenga en la fórmula, el coeficiente de compresibilidad presenta la tendencia contraria; y a la vez los datos de apariencia, olor y en menor proporción el análisis de sólidos insolubles (JBFT), definen un rango de porcentajes de sulfato y carbonato, en el que los valores son aceptables, obteniéndose los mejores resultados combinados para la Fórmula No.5.

Estos resultados se deben en principio, a que, a bajas concentraciones de sulfato de sodio, al ácido tiende a reaccionar en pequeñas proporciones sobre el carbonato de sodio, que por tratarse de un material granular, al reaccionar forma una sustancia de apariencia esponjosa y pegajosa, que disminuye la densidad y aumenta el coeficiente de compresibilidad, siendo a la vez causante de que la apariencia del detergente sea diferente al

estándar y su olor cambie luego del añejamiento. Mientras que, a concentraciones elevadas de sulfato, la tendencia es la contraria, ya que se tiene un material de alta densidad y menos granular, lo cual eleva la densidad del producto y baja el coeficiente de compresibilidad, al llevar pequeños granos que rodean y separan los producidos de ingrediente activo, que son los que tienden a unirse entre sí; sin embargo, el ingresar este material de apariencia más polvorosa, también provoca la adsorción en el mismo, de parte del ácido sulfónico o del mismo dodecilsulfonato de sodio (ingrediente activo), que dan al detergente un color amarillento y con olor amargo.

Ahora bien, analizando la fórmula con los mejores resultados analíticos antes y después del añejamiento, puede deducirse que se trata de una fórmula de robustez aceptable, dado que las variaciones mostradas en la Tabla No. 10, al someter la producción durante un mes, a condiciones de almacenamiento extremas, no presentó variaciones considerables en los parámetro de control, y menos en los parámetros clave buscados. Desde luego, que los resultados analíticos no fueron los mismos para todas las condiciones, lo cual era de esperarse, ya que en la condición de radiación solar extrema, se esperaba obtener una menor humedad que en el resto de muestras, a la vez que el olor variaba moderadamente, debido a las condiciones no controladas de la atmósfera del cuarto de irradiación. Caso que no se presenta en los demás lugares de almacenamiento, ya que la humedad y temperatura de los mismos se encuentran controladas automáticamente. Sin embargo, a pesar de las variaciones, ninguno de los valores se encontró cerca de salirse de los límites mostrados en la Tabla No. 21, lo que permitió la deducción de que la fórmula trabajada tiene la robustez necesaria como para poder fabricarse en una planta industrial.

En lo que respecta al equipo diseñado para la generación de detergente en polvo en fase sólida, puede resaltarse el tipo de mezclador que se escogió, así como la forma de las aspas que utiliza. El mezclador está diseñado en realidad para el manejo de pastas, que por medio de los agitadores sigma, provee de una mezcla eficiente en productos de alta viscosidad, debido al efecto producido por la elongación, que es el método empleado en las mezclas de pastas. En realidad el detergente no es una pasta, sin embargo, en el desarrollo de la fórmula en el laboratorio, se pudo comprobar que la base generada se comporta como tal, hasta que se adiciona el resto de materiales postadicionados, con lo que el tipo de mezclador escogido, será el indicado para el proceso a manejar. Además, debe contrastarse el hecho de que el material de fabricación sea acero inoxidable, lo cual es debido a la resistencia de este material a la abrasividad y corrosividad, que son características de muchos materiales empleados en el proceso.

En lo que respecta a la adición de materiales, resalta el diseño efectuado para las tolvas de almacenamiento de carbonato de sodio, sulfato de sodio y STPP, que tienen una forma cónica, con dimensiones basadas en el tiempo de preparación de las cargas; la forma cónica evitará la formación del denominado hoyo de ratón, que es indeseable, por provocar acumulación de material en las paredes, que se humedece y llega a formar capas que dañan el equipo. La dosificación se lleva a cabo por medio de tornillos sin fin, los cuales, pueden graduarse fácilmente por medio de la velocidad de giro, para que coloquen la cantidad deseada de material dentro del mezclador, en el tiempo requerido.

Otro aspecto importante es el diseño del sistema de dosificación de ácido sulfónico lineal, que se trata de un material corrosivo, que debe aspersarse para que se aproveche de mejor manera la considerable área superficial, en la que puede llevarse a cabo la reacción entre dicho material y el carbonato de sodio granular. Esto hace que las toberas, bomba y tanque provisional, se diseñen de acero inoxidable, garantizando la resistencia del equipo. Además, es importante el resaltar dos aspectos: el tipo de bomba escogida y el tipo de tobera a instalar. El primer aspecto es importante, dado que como el material tiene una viscosidad considerable, lo que combinado con la elevada caída de presión que se tiene en las toberas, lleva a la elección de una bomba de desplazamiento positivo de engranajes, que pueda manejar fácilmente estos requerimientos, y al mismo tiempo resistir la corrosividad del material. El segundo aspecto es indispensable, dado que las toberas son el medio de aspersión de ácido, y deben tener las características adecuadas para transformar la considerable presión del sistema, en un flujo disperso de gotas finas a alta velocidad, todo esto se traduce físicamente en orificios de tamaño variable e insertos, que provocan una mejor aspersión.

En lo que se refiere al perfume, su adición es bastante similar a la del ácido sulfónico, sin embargo, por tratarse de un material que se volatiliza fácilmente, lo más indicado es utilizar aire comprimido, como medio de aspersión de dicho material. La aspersión debe de efectuarse por medio de boquillas, que permiten que el flujo de perfume se esparza sobre todo el material empleado en la fabricación del detergente en polvo.

Por último puede mencionarse que los recipientes o tanques temporales de almacenamiento, que se emplean para llevar el producto a las llenadoras, son diseñados en lonas flexibles, que permiten minimizar las acumulaciones de producto y variación de densidad, a la vez que tienen bajo peso y permiten el fácil traslado hasta los lugares requeridos. Estos almacenamientos temporales tienen la ventaja de que permiten el conservar productos de diferentes aromas, haciendo mucho más versátil el proceso. Además, el resto de materiales, que no cuentan con un sistema específico diseñado para la adición, deben de agregarse de manera manual, ya sea por medio de un sistema que se emplea en otros procesos o por un manejo de prepesado de materiales.

Entre las fuentes de error que pueden tenerse, se encuentra la carencia de un sistema del tamaño adecuado, como para realizar un análisis de las condiciones de transferencia de calor que se puedan llegar a dar en el mezclador. Esto podría traer la consecuencia de que el calor no se pierda fácilmente, y que los lotes de producción deban de alargarse en tiempo, o que tenga que instalarse una chaqueta de enfriamiento, para poder agregar las enzimas y el perfume, sin que se presenten problemas con el producto final. Por esto, se recomienda el efectuar un análisis completo de la transferencia de calor en los mezcladores sigma, para verificar si el enfriamiento es efectivo con los materiales utilizados.

En lo que se refiere a la parte económica, es necesario mencionar que el proyecto tiene una rentabilidad aceptable; esto puede observarse de manera clara en la Tabla No.19, donde se presentan los valores del tiempo de recuperación de la inversión necesaria para el arranque del proceso, y los beneficios económicos totales que se obtienen al emplear el proceso propuesto, durante los primeros cinco años.

Como ya se ha definido, el proceso empleado actualmente en la empresa hace uso de un sistema de secado por aspersión, donde debe emplearse Kerosina como combustible para calentar el aire entrante, que es el medio de secado. Esto no es requerido por el proceso propuesto, con lo que los costos de combustible se eliminan del

proceso y son un ahorro representativo, según lo que puede observarse en la Tabla No.19. La eliminación del proceso de combustión no representa únicamente una ventaja económica, sino que además disminuye riesgos de accidentes y aumenta el grado de limpieza en la producción, al eliminar los residuos gaseosos provocados por la combustión en el proceso actual.

El otro monto de ahorro que se obtiene en el proceso propuesto es la mano de obra, ya que el equipo y la manera de manejar los materiales, presentan menores requerimientos de personal, que los presentados por una torre de secado por aspersión, esto se traduce desde luego, en un beneficio económico, que depende de los niveles de operadores en cada área. A pesar de que estos beneficios pueden considerarse como constantes, pueden verse afectados seriamente por la cantidad de horas extra que deban de trabajar los operadores en el proceso propuesto.

Y también se tienen ahorros en lo que se refiere a las cantidades de materiales empleados en el proceso, ya que la fórmula propuesta no presenta estabilizantes y mediadores del proceso de secado por aspersión, lo cual reduce considerablemente los costos, a la vez que la fórmula propuesta, presenta una tendencia a ahorrar en materiales sin sacrificar la calidad del producto obtenido.

Por último, debe mencionarse que el tiempo de recuperación de la inversión es de aproximadamente 10 meses, lo cual representa un valor aceptable, que combinado con los resultados mostrados en la Tabla No. 66, donde se indica la suma de los beneficios económicos que pueden llegar a obtenerse durante los próximos cinco años de producción; lleva a la deducción de que el proceso propuesto es factible también bajo el punto de vista económico.

IX. CONCLUSIONES

- A. A partir de los resultados obtenidos, puede establecerse que la fórmula más adecuada es la No. 5 (Tablas No. 7 a la 9), la cual presentó los resultados más favorables luego de los añejamientos realizados.
- B. Experimentalmente, se comprobó que la fórmula desarrollada presenta una robustez aceptable, como para poder fabricarse en una Planta Industrial.
- C. Por medio de los resultados encontrados para el diseño de los equipos, puede establecerse que el proceso desarrollado es factible técnicamente.
- D. A partir del valor calculado de 10.58 meses, para el tiempo de recuperación de la inversión necesaria y de los beneficios estimados para la producción de los próximos cinco años, que tienen un valor de cerca de 37 millones de quetzales; puede afirmarse que el proceso es económicamente factible.
- E. De los datos calculados, puede establecerse que existen principalmente tres fuentes de ahorro en el proceso propuesto, que son: el ahorro en materiales, el ahorro en combustible y finalmente el ahorro en mano de obra.
- F. Los costos totales de equipo e instalación, necesarios para la fabricación de detergente en fase sólida, se estimaron en Q 5,440,648, mientras que los beneficios netos del primer año de producción se estimaron en Q 6,288,020. Siendo estos valores indicadores de la factibilidad económica del proceso.

X. RECOMENDACIONES

- A. Realizar un análisis de la transferencia de calor en los mezcladores sigma, para garantizar que el enfriamiento sea efectivo, evitando problemas en el manejo de perfumes y enzimas.
- B. Al poner en marcha el proceso, deben crearse procedimientos estándar de operación, que permitan el establecimiento de pasos claros de adición de materiales, a modo de obtener un proceso controlado, con resultados que cumplan con los estándares de calidad.
- C. Realizar pruebas con los mezcladores sigma que actualmente posee la empresa en la que se desarrolló el estudio, para establecer si el proceso se desarrolla como es esperado fuera del laboratorio.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Davidsohn, John, *et al.* 1953. *Chemical process designs*, vol. I. New York, Interscience publishers. 455 págs.
- Green, Maxwell. 1985. «New developments in heat transfer». *Revista Chemical Engineering Progress*. Volumen 81: 32 – 55.
- Layman, Phil. 1984. *Brisk detergents activity changes picture for chemical suppliers*. Boston, Chem. and Eng. News. 52 págs.
- McCabe, Warren, *et al.* 2002. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4ta. ed. México D.F., McGraw Hill. 1112 págs.
- Perry, Robert, *et al.* 2001. *Manual del ingeniero químico*. 7ª ed. Madrid, McGraw Hill. 2514 págs.
- Stadros, Theodor. 1984. *Surfactants*. New York, Academic Press, Harcourt Brace Javanovich editores. 354 págs.
- *Industrial Spray products catalog 51*. 1991. New York, Spraying System Co. 128 págs.
- *Viking Pump Catalog*. 1991. Boston, Viking Pump, Inc. 332 págs.

XII. APÉNDICES

Apéndice A: Datos originales obtenidos para los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados y para los requerimientos de la fórmula

Tabla No. 20: Datos originales obtenidos para las variables clave de liberación a nivel analítico de los detergentes en polvo

Análisis a realizar	Valor objetivo a obtener	Valor máximo permitido	Valor mínimo permitido
Porcentaje de ingrediente activo (%m/m)	15.00	17.70	12.30
Humedad (%m/m)	9.0	10.0	8.0
Densidad del producto empacado (g/L)	480	528	432

Tabla No. 21: Datos originales obtenidos para las variables de control a nivel analítico de los detergentes en polvo

Análisis a realizar	Valor objetivo a obtener	Valor máximo permitido	Valor mínimo permitido
Savinasa (mg de actividad/ 100mg)	6.07	7.89	4.25
STPP como P ₂ O ₅ (%m/m)	10.7	12.0	8.6
Coefficiente de compresibilidad (N)	1.50	3.50	-
pH	10.50	11.50	9.50
JBFT	8.0	-	4.0
Abrillantador	Positivo	-	-
Apariencia	Positivo	-	-
Olor	4	5	3

Tabla No. 22: Datos originales obtenidos para los análisis fisicoquímicos realizados a la fórmula No. 1 propuesta, un día después de la producción efectuada

Análisis a realizar	Peso empleado (g±0.0001g)	Concentración de titulante (M±0.5%)	Volumen de titulante empleado (mL±0.05mL)	Volumen total del recipiente empleado (mL)	Absorbancia (%±0.001%)	Ecuación de la curva de calibración	Resultado del análisis	Incertidumbre
Ingrediente activo (% n/m)	1.0163	0.005042	8.95	-	-	-	-	-
STPP como P ₂ O ₅ (% m/m)	-	-	-	-	11.32	% fosfatos = 0.5967(A)+3.1576	-	-
Savinasa (mg activos/100g)	-	-	-	-	0.324	y=14.153(A)+1.6935	-	-
Humedad (% n/m)	-	-	-	-	-	-	8.18%	0.01%
Densidad del producto empacado (g/L)	2.3103	-	-	5.46	-	-	-	-
Coefficiente de compresibilidad (N)	-	-	-	-	-	-	6.24	0.01
pH	1.0013	-	-	-	-	-	10.52	-
JBFT	-	-	-	-	-	-	7	-
Abrillantador	-	-	-	-	-	-	Aceptado	-
Apariencia	-	-	-	-	-	-	Inaceptable	-
Olor	-	-	-	-	-	-	1	-

Apéndice B: Datos originales obtenidos para el diseño del equipo a utilizar en el proceso de fabricación de detergente en polvo

Tabla No. 45: Datos originales obtenidos para el diseño del mezclador sigma

Densidad inicial del detergente (kg/m ³)	Densidad final del detergente (kg/m ³)	Factor de seguridad empleado para el volumen del mezclador (% en volumen)	Capacidad del mezclador (kg)	Tiempo de preparación del detergente (min)	Eficiencia del motor de las aspas del mezclador (%)
1200	400	10	800	30	75 ^o

Tabla No. 46: Datos originales obtenidos para el diseño del tornillo dosificador de soda ash densa, sulfato de sodio y tripolifosfato de sodio

Material	Densidad bulto (kg/m ³)	Características	Cantidad a dosificar de cada material (kg)	Tiempo de dosificación (min)
Soda ash densa	881-1041	->sólido fino de 149µm a 3.18 mm (malla 100 a malla 8). ->Sólido que fluye libremente. Tiene un ángulo de reposo de 30 a 45°. ->Sólido ligeramente abrasivo.	209.6	4
Sulfato de sodio	1041-1361.5	->sólido fino de 149µm a 3.18 mm (malla 100 a malla 8). ->Sólido que fluye libremente. Tiene un ángulo de reposo de 30 a 45°. ->Sólido ligeramente abrasivo.	160	3
Tripolifosfato pentasódico	1041-1361.5	->sólido fino de 149µm a 3.18 mm (malla 100 a malla 8). ->Sólido que fluye libremente. Tiene un ángulo de reposo de 30 a 45°. ->Sólido ligeramente abrasivo.	120	4

Tabla No. 47: Datos originales obtenidos para el diseño de los tanques de almacenamiento de soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato de sodio, ácido sulfónico y perfume

Material	Ángulos de reposo (°)	Tiempo de almacenamiento del material en el tanque (h)	Relación altura/radio
Soda ash densa	55	2	-
Sulfato de sodio	50	2	-
Tripolifosfato pentasódico	50	2	-
Ácido sulfónico	-	2	1.5
Perfume	-	2	1

Tabla No. 48: Datos originales obtenidos para el diseño de la bomba de ácido sulfónico

Densidad del ácido sulfónico (kg/m³)	Caída de presión de la bomba (kPa)	Capacidad de la bomba (kg/h)
1200	2068	1440

Tabla No. 49: Datos originales obtenidos para el diseño de los tanques de almacenamiento temporal de detergente

Densidad del detergente (kg/m³)	Capacidad a almacenar temporalmente (kg)
400	800

Tabla No. 50: Datos originales obtenidos para el orden y tiempo de adición de los materiales empleados para la fabricación de detergente en polvo

Material en orden de adición	Tiempo de dosificación (min)
Soda ash	2
Ácido sulfónico lineal	5
Silicato de sodio	2
Soda ash	4
STPP	4
Sulfato de sodio	3
Perfume	1.5
BH	0.33
Tinopal líquido	0.33
Enzimas	0.33

Apéndice C: Datos originales obtenidos para el análisis de costos efectuado

Tabla No. 51: Datos originales obtenidos para la determinación de costos de equipo por el método de gráficas e índices de costos de equipo

	Valor
Índice de costo de planta CE 2004	405.7
Índice de costo de planta CE 1982	315

EQUIPO				
	DESCRIPCIÓN	Número	Cantidad	Especificaciones de capacidad (dimensión)
DOSIFICADORES DE TORNILLO (S/IMPULSOR) DE ACERO INOXIDABLE	TORNILLO DOSIFICADOR DE SULFATO DE SODIO	A-1	1	Distancia de traslación=4.6 m y diámetro=2.3 m
	TORNILLO DOSIFICADOR DE STPP	A-2	1	Distancia de traslación=4.6 m y diámetro=2.3 m
	TORNILLO DOSIFICADOR DE SODA ASH DENSA	A-3	1	Distancia de traslación=4.6 m y diámetro=2.3 m
IMPULSORES DE TORNILLOS DOSIFICADORES	IMPULSOR DE TORNILLO DOSIFICADOR DE SULFATO DE SODIO	A-1	1	Transportadores de tornillo a prueba de explosión
	IMPULSOR DE TORNILLO DOSIFICADOR DE STPP	A-2	1	Transportadores de tornillo a prueba de explosión
	IMPULSOR DE TORNILLO DOSIFICADOR DE SODA ASH DENSA	A-3	1	Transportadores de tornillo a prueba de explosión
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SULFATO DE SODIO	D-1	1	Tanques verticales acero al carbón con una altura= 0.9 m y Diámetro interior=1.91 m
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO STPP	D-2	1	Tanques verticales de acero al carbón con una altura = 0.8 m y Diámetro interior=1.74 m
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SODA ASH DENSA	D-3	1	Tanques verticales de acero al carbón con una altura =1.4 m y Diámetro interior=2.4 m
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFÓNICO	D-4	1	Tanques verticales de acero inoxidable con una altura = 0.68 m y Diámetro interior=0.91 m
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PERFUME	D-5	1	Tanque de acero inoxidable con V=0.2 m ³ con P=680 kPa
MEZCLADOR	MEZCLADOR SIGMA	M-1	1	Mezclador de pasta de acero inoxidable con un consumo de energía de kW= 103 kW.
BOMBAS	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	P-1	1	Potencia del eje=1.49 kW ; Presión de diseño es 2068 kPa
TOBERAS	TOBERA DE ACIDO SULFÓNICO	T-1	1	Diámetro= 0.0254 m , largo de 0.1 m
	TOBERA DE PERFUME	T-2	1	Diámetro= 0.0254 m , largo de 0.1 m
RECIPIENTES	RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL	TT-1	20	Volumen=2 m ³ ; altura = 2.06 m; lado=1.03 m

Tabla No. 52: Datos originales obtenidos para los costos unitarios de las materias primas empleadas en la fórmula propuesta

Material a emplear	Costo unitario
Costos del silicato de sodio (Q/kg)	Q 1.04
Costos del ácido sulfónico (Q/kg)	Q 6.23
Costos del sulfato de sodio (Q/kg)	Q 1.17
Costos del tinopal (Q/kg)	Q 51.55
Costos del BH (Q/kg)	Q 46.52
Costos del STPP (Q/kg)	Q 4.18
Costos del carbonato de sodio (Q/kg)	Q 1.65
Costos de las enzimas (Q/kg)	Q 41.83
Costos del perfume (Q/kg)	Q 78.69

Tabla No. 53: Datos originales obtenidos para los costos del combustible empleado en la fórmula actual y su consumo promedio por tonelada de detergente, así como para el costo unitario de la fórmula actual

Costos del combustible para secado (Q/kg)	Q 4.15
Uso de combustible (kg combustible/ T_M detergente)	45
Costos totales unitarios de la fórmula actual (Q/kg)	Q 3.76

Tabla No. 54: Datos originales obtenidos para los costos de la mano de obra empleada en la fórmula actual y en la propuesta

Nivel del Operador	Salario Promedio por día	Días promedio trabajados por mes	Número de operadores empleados en el proceso actual	Número de operadores empleados en el proceso propuesto
1	Q 102.27	22	6	2
2	Q 157.73	22	4	2
3	Q 227.27	22	3	1
4	Q 272.73	24	1	1

Tabla No. 55: Datos originales obtenidos para la producción anual estimada en la fabricación de detergente en polvo

Año	2005	2006	2007	2008	2009
Producción estimada para los siguientes cinco años (T_M /año)	5510	6730	7950	8660	9540

Apéndice D: Métodos empleados para los análisis fisicoquímicos realizados

Para poder realizar los diferentes análisis al producto detergente obtenido con la fórmula elegida (No.5), se emplearon los métodos que a continuación se describen:

Método 1: Coeficiente de compresibilidad

a. Equipo a emplear

- Dinamómetro marca Lutron modelo RS-232.
- Espátula.
- Vasos de acero inoxidable especialmente diseñados.

b. Principio: El detergente tiende a aglomerarse conforme se comprime dentro de las bolsas en las que es empacado. Una fuerza suficientemente grande, provoca que las partículas granulares del polvo del detergente, se unan entre sí, hasta que una fuerza de mayor o igual en magnitud toca el bloque y lo desintegra en las partículas granulares de nuevo. Una medición de la fuerza que provoca el desmoronamiento del bloque de detergente formado, será un indicador de lo pegajoso que se encuentre, y del peso que podrá colocársele encima a cada bolsa en el almacenamiento.

c. Procedimiento

- Introducir la varilla en el orificio del pistón e introducir el cilindro exterior al pistón.
- Alinear el equipo con el medidor de fuerza, de tal manera que el pistón este centrado con la punta inferior del medidor de fuerza.
- Llenar el cilindro exterior con el detergente a analizar hasta rebasar la cavidad.
- Eliminar el exceso de muestra utilizando una espátula para que la muestra quede a nivel con la parte superior del cilindro exterior.
- Colocar el plato sobre el pistón y suavemente coloque la pesa de 5 kg sobre el plato.
- Quitar cuidadosamente la varilla e inmediatamente comenzar a medir el tiempo.
- Después de exactamente 5 minutos quitar cuidadosamente la pesa y bajar con cuidado el cilindro exterior, de tal manera de que quede libre la torta formada.
- Bajar el medidor de fuerza hasta que casi toque el plato y poner autocero al instrumento.
- Baje el medidor de fuerza y presione lentamente el plato que se encuentra sobre la torta hasta que esta se rompa.
- Tome la lectura en N, que reporta el medidor de fuerza y reporte esta lectura como el valor de resistencia de la torta obtenida para el gránulo analizado.

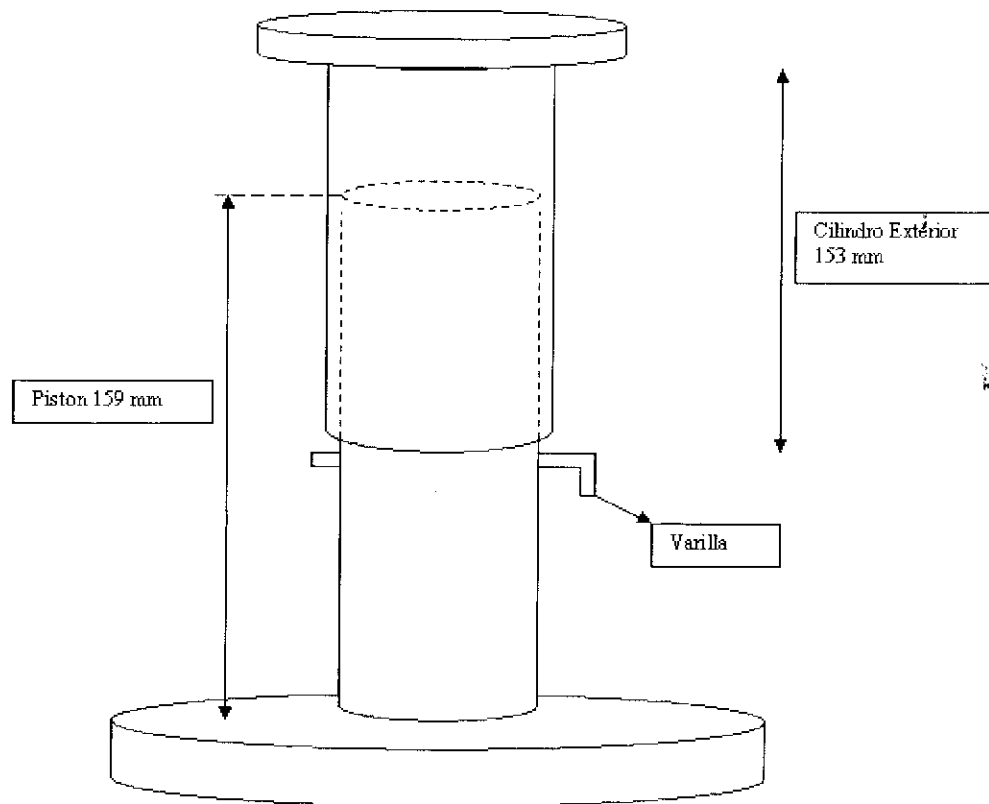


Figura No. 14: Sistema de vasos empleado en la medición del coeficiente de compresibilidad (sin escala)

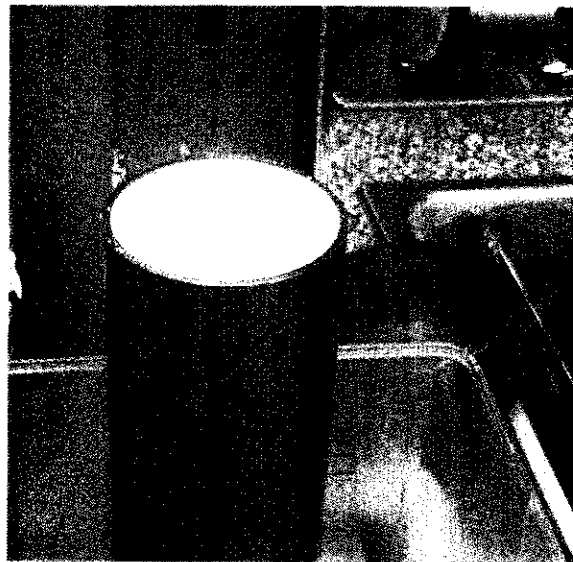


Figura No. 15: Análisis del coeficiente de compresibilidad

Método 2: Determinación del ingrediente activo en detergentes

a. Reactivos utilizados

- Agua destilada
- Cloroformo
- Mezcla de indicadores (azul de metileno, ácido sulfúrico, rojo de bromotimol).
- Hyamina al 0.005 N.

b. Equipo a emplear

- Buretas y base de titulación.
- Probetas con tapón.
- Balones aforados.

c. Principio: Los detergentes en general, tienen como ingrediente activo a sales surfactantes aniónicas, las cuales forman compuestos solubles en cloroformo, al reaccionar con el azul de metileno. La adición de una sal o un surfactante catiónico (como la Hyamina), provoca la formación de un complejo que elimina al azul de metileno, el cual se solubiliza en agua hasta cambiar la tonalidad de la misma a un color azul verdoso.

d. Procedimiento

- Pesar 1g en un balón de 100 mL y aforar con agua destilada.
- Agitar durante 10 minutos tratando que la muestra se disuelva completamente.
- Tomar con una pipeta, 10 mL de la muestra anteriormente preparada y colocarla en una probeta con tapón.
- Agregarle, a la probeta con la muestra, 15 mL de cloroformo y 10 mL de mezcla de indicadores.
- Titular la solución preparada con Hyamina.

Al terminar la titulación, se debe emplear la siguiente ecuación para el cálculo del porcentaje de Ingrediente Activo:

$$\%IA = \frac{(M) \times (N) \times (W) \times (100)}{S} \quad (4)$$

donde,

M = mL de Hyamina
 N = molaridad de Hyamina
 W = peso molar
 S = peso de la muestra

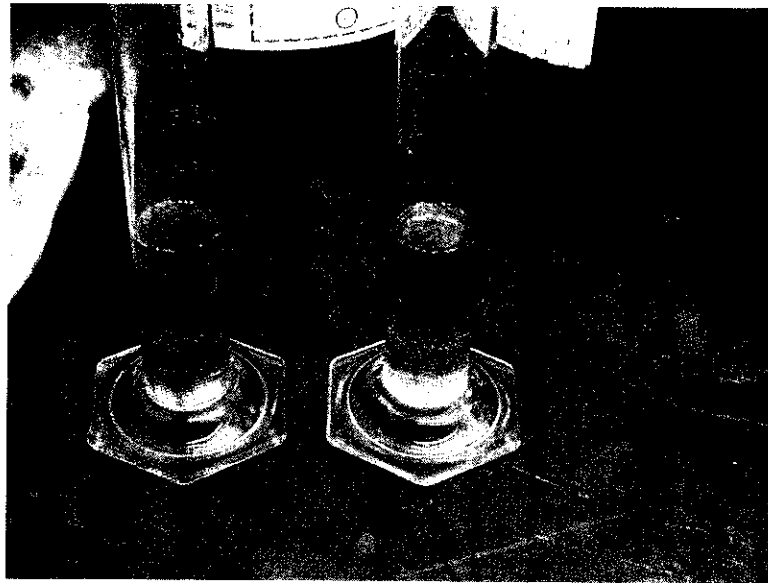


Figura No. 16: Análisis del Ingrediente Activo de Detergentes

Método 3: Determinación de STPP como P_2O_5

a. Reactivos utilizados

- Ácido nítrico 1:2
- Agua destilada
- Alcohol neutralizado
- Vanadato de amonio al 0.25 % (m/m)
- Molibdato de amonio al 5% (m/m)

b. Equipo a emplear

- Espectrofotómetro UV-Visible.
- Balones aforados.

c. Principio: Los detergentes en polvo tienen tripolifosfato de sodio hidratado como antirredepositante. Este compuesto puede ser cuantificado luego de hacerlo reaccionar con Ácido nítrico y sales pesadas de amonio, que reaccionan con el tripolifosfato de sodio para hacerlo visible y cuantificable.

d. Procedimiento

- Pesar 1 g de detergente en papel de aluminio.
- Filtrar esta muestra con alcohol neutralizado.
- Colocar el sólido en balón de 1000 mL, aforar y agitar durante 10 minutos.
- Tomar 10 mL de solución preparada y colocarlos en balón de 50 mL.
- Agregar 5 mL de ácido nítrico 1:2.
- Colocar en baño de maria por 30 minutos a 75 °C.
- Retirarlos del baño y dejar enfriar por 5-10 minutos.
- Agragar 5 mL de vanadoto de amonio al 0.25 %.

- Agregar 5 mL de molibdato de amonio al 5 % .
- Aforar con agua.
- Dejar reposar por 30 minutos.
- Tomar la muestra colocarla en el espectrofotómetro a 460 nm y luego tomar la lectura.



Figura No. 17: Análisis del contenido de STPP en detergentes

Método 4: Determinación de compuestos insolubles en detergentes (JBFT)

a. Reactivos utilizados

- Agua destilada

b. Equipo a emplear

- Catálogo interno de comparación.
- Agitador magnético.
- Filtro de tela negra.
- Bomba de vacío.

c. Principio: Los detergentes en polvo al ser disueltos en el agua de lavado, por lo general reaccionan en pequeñas cantidades con las grasas presentes, para dar compuestos pesados insolubles, que se depositan en la ropa. Para cuantificar estos sólidos y cualquier otro tipo de sólidos insolubles provenientes de impurezas, se puede emplear un filtro al vacío que permita apreciar la cantidad de sólidos precipitados.

d. Procedimiento

- Pesar 1.5 g de detergente en un beaker de 500 mL
- Agregar 500 mL de agua destilada sobre la muestra
- Agitar durante 10 minutos
- Colocar la muestra en la tela negra en el embudo especial
- Filtrar el agua y sacar la tela

- Calificar la tela con el catálogo, donde 9 es la tela limpia, 4 representa un valor bajo de sólidos sobre la tela, y 0 representa un cambio de color de la tela a blanco.

Método 5: Determinación del porcentaje de humedad en detergentes

a. Equipo a emplear

- Balanza de determinación de humedad.
- Espátula.

b. Principio: El análisis empleado para la determinación de la humedad relativa en una muestra o del contenido de agua de la misma, se basa en la determinación de la pérdida de masa que tiene un material al ser sometido durante cierto tiempo a una fuente calor externa, que eleva la temperatura de la muestra hasta un valor objetivo. Este método determina en realidad el total de volátiles que se encuentran en la muestra analizada, pues el calor provocará la evaporación de los mismos y no únicamente del agua.

c. Procedimiento

- Asegurarse que el platillo de aluminio esté completamente seco. Colocarlo en la balanza y presione el botón Tarar.
- Oprimir el botón Seleccionar y colocar la balanza a la temperatura correspondiente a la muestra (195 °C).
- Oprimir el botón Seleccionar e indicar en la balanza el tiempo correspondiente a la muestra (15 minutos).
- Colocar sobre el platillo de aluminio de 2 a 6 g de la muestra que se evalúa. El peso lo indica la balanza. La muestra debe quedar esparcida.
- Cerrar la balanza de humedad.
- Tomar la lectura del porcentaje de humedad de la muestra que la balanza calcula.

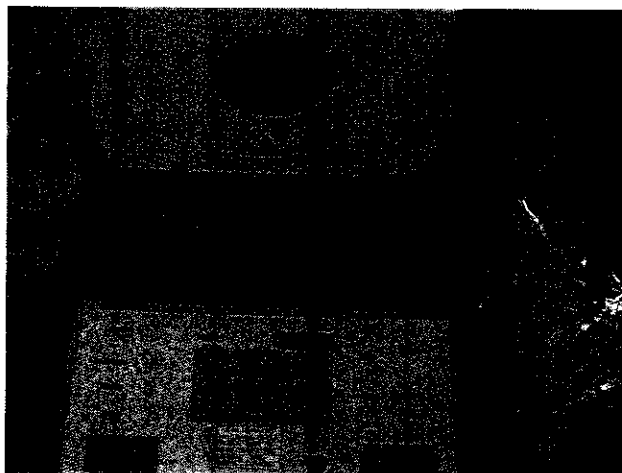


Figura No. 18: Análisis del contenido de humedad en detergentes

Método 6: Determinación de la densidad de detergente en polvo

a. Equipo a emplear

- Balanza analítica.
- Recipiente de volumen conocido, calibrado.
- Embudo de acero inoxidable

b. Principio: La muestra es añadida a una taza de volumen conocido a través de un embudo. El exceso de muestra es eliminado pasando una espátula grande por el borde del recipiente, después el recipiente con muestra es pesado. El peso de muestra es dividido por el volumen del recipiente.

c. Procedimiento

- Colocar la taza seca y vacía en la balanza, presionar el botón de Tara.
- Cierre la parte inferior del embudo y llene este aproximadamente al 90% de su capacidad.
- Centre la taza directamente debajo de la base del embudo de tal manera que la parte superior de la taza este a una distancia de aproximadamente 20 mm de la parte inferior del embudo.
- Destapar la base del embudo y dejar que la muestra fluya libremente dentro de la taza.

Nota: Si el detergente se adhiere a las paredes, golpee el embudo con el poste metálico colocado en la parte opuesta de la tapa giratoria de la parte inferior del embudo. Elimine cualquier exceso de muestra utilizando una espátula para que la muestra quede a nivel con la parte superior de la taza.

Nota: Asegúrese de no golpear o vibrar la Taza antes de eliminar el exceso de muestra. Tazas que posean nivelador automático de muestra pueden ser usadas para esta determinación.

- Pese la Taza con la muestra y registre el peso.

Para calcular la densidad de la muestra, debe de emplearse la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad (g/L)} = (\text{Peso de la Muestra (g)} / \text{Volumen del Vaso (L)}) (5)$$

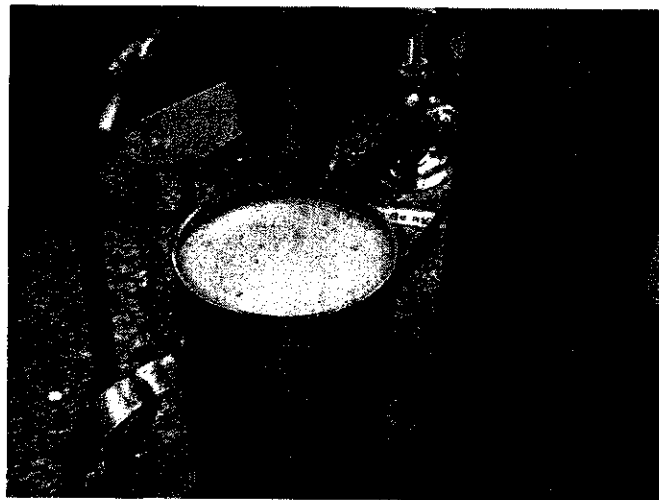


Figura No. 19: Análisis de la densidad de detergentes

Método 7: Método cualitativo de verificación del contenido de abrillantador óptico en detergentes en polvo

a. Equipo a emplear

- Caja negra con mirilla especial.
- Lámpara de luz ultravioleta.
- Vidrios de reloj.

b. Principio: Los detergentes contienen compuestos denominados abrillantadores ópticos, los cuales tienen la función de provocar un efecto de brillo sobre la ropa, por medio de la incidencia de la luz ultravioleta sobre ella. Para identificar la presencia de estos compuestos en el detergente, debe someterse este a una fuente de luz ultravioleta intensa, que permite observar si la muestra contiene el denominado Abrillantador óptico.

c. Procedimiento:

- Colocar la muestra estándar en el interior de la caja negra de manera permanente hasta cumplido el tiempo de caducidad, normalmente reemplazarla cada 3 meses.
- Tomar una bolsa (muestra) de Producto terminado mayor a 500 g. Cuidando de no agitarla ni golpearla (Esta muestra no debe ser molida), esta acción evitaría detectar posibles fallas del proceso en adición y homogenización de los abrillantadores.
- Encender el equipo.
- Abrir la bolsa completamente e introducir el cucharón de toma de muestra, llenar aproximadamente la mitad del cucharón y colocar el detergente en el vidrio de reloj de 20 cm de diámetro y esparcir la muestra, de manera que ocupe un área de 10 a 15 cm. De diámetro.
- Abrir la puerta lateral de la caja e introducir la muestra, colocarla a un lado de la muestra estándar y cerrar perfectamente la puerta.
- Abrir la compuerta superior (compuerta de lectura) y comparar ambas muestras, la muestra en análisis deberá ser semejante a la muestra estándar:
 - Mayor brillantez que la muestra estándar: PASA (Retroalimentar al Proceso).
 - Igual o muy semejante a la muestra Estándar: PASA
 - Menor brillantes que la muestra estándar, pero con presencia de abrillantador: PASA (Retroalimentar al Proceso).
 - Presencia de abrillantador, pero no homogénea: PASA (Retroalimentar al Proceso).
 - Ausencia de abrillantador o muy opaca (Ausencia de Abrillantador): NO PASA (Detención de Producto).
- Sacar la muestra de la caja, apagar el equipo y reportar resultados.

d. Recomendaciones

- El lugar en el cual estará instalada la caja negra deberá estar libre de corrientes de aire y en un lugar protegido de la luz solar.

- Mientras no se estén tomando lecturas de Muestras mantener apagados los tubos ultravioleta para prolongar su duración.
- Recoger los derrames de polvo con una aspiradora si es que ocurriera.



Figura No. 20: Análisis de contenido de abrillantador óptico

Método 8: Método cualitativo de verificación de la apariencia de detergente

a. Equipo a emplear

- Caja de fondo negro.
- Estándares aprobados por el centro regional de tecnología.
- Recipientes transparentes de vidrio.

b. Principio: Los detergentes contienen colores llamativos y puntos de tonalidades diversas que provocan una sensación de mayor actividad y fuerza lavadora. El muestreo del detergente y su posterior comparación con los estándares máximo y mínimo de color, permiten la evaluación cualitativa de la tonalidad correcta del detergente.

c. Procedimiento

- Tomar una muestra de detergente y colocarla dentro de un recipiente transparente de vidrio.
- Comparar la muestra con los estándares máximo y mínimo de color.
- Utilizar los siguientes criterios para aceptar o rechazar:
 - Si la apariencia de color se encuentra dentro del rango de tonalidades definido por los estándares, el producto debe de ser aprobado.
 - Si el color de la muestra es más fuerte que el del estándar máximo o más débil que el del estándar mínimo, rechazar el producto.

Método 9: Método de determinación de actividad enzimática

a. Reactivos utilizados

- Agua destilada
- Solución buffer "Trisma 10X".
- Detergente sin enzimas.
- Solución de identificación de actividad enzimática

b. Equipo a emplear

- Autoanalizador espectrofotométrico ABBOTT.
- Balones aforados.

c. Principio: Las enzimas adicionadas a los Detergentes como la Savinasa, son aceleradores de las reacciones e solubilización de las grasas por medio de los detergentes. Una solución especialmente preparada para acelerar la actividad enzimática y producir complejos que cambien el color de la solución en dependencia de la actividad, permite la identificación de actividad enzimática en los detergentes. Sin embargo, estas determinaciones son muy sensibles a la contaminación, calor y manipulación manual, de donde un analizador automático minimiza el riesgo de resultados erróneos.

d. Procedimiento

Soluciones de calibración:

- Adicionar 10 mL de buffer trisma 10X a cada uno de cinco matraces volumétricos de 100 mL.
- Pipetear 0.0; 1.0; 2.0; 3.0; 4.0 mL de la solución estándar de Savinasa y aforar cada matraz con agua deionizada.
- Estas soluciones representan: 0.000; 0.1941; 0.3882; 0.5823; 0.7764 mg/1000 mL de Savinasa.
- Tomar las lecturas de absorbancia del analizador automático y construir la curva de calibración.

Preparación de la Muestra:

- Pesar 60.0000 g +/- 0.1 g de producto terminado y transferirlo a un matraz volumétrico de 3000 mL
- Adicionar agua deionizada hasta $\frac{3}{4}$ partes de volumen (evite la formación de grandes burbujas agregando el agua por las paredes del matraz), agitar por 10 min. a máxima velocidad (400 rpm).
- Transcurrido el tiempo aforar y agitar por 5 min más. Parar la agitación y proceda a tomar la alícuota de 10mL.
- Transferirla a un matraz volumétrico de 25 mL y adicionar 2.0 mL de buffer trisma 10X, aforar con agua deionizada, agitar por inversión.
- Llenar las copas para muestra (al menos 4 copas por muestra) y proceder con el paso de análisis de muestras.
- Es importante recordar el colocar la Solución de identificación de Actividad enzimática y el activar el programa de detección de Savinasa en el analizador automático.
- Ingresar el valor obtenido para la absorbancia en las ecuaciones de la curva de calibración y obtener el valor de actividad enzimática de la muestra.

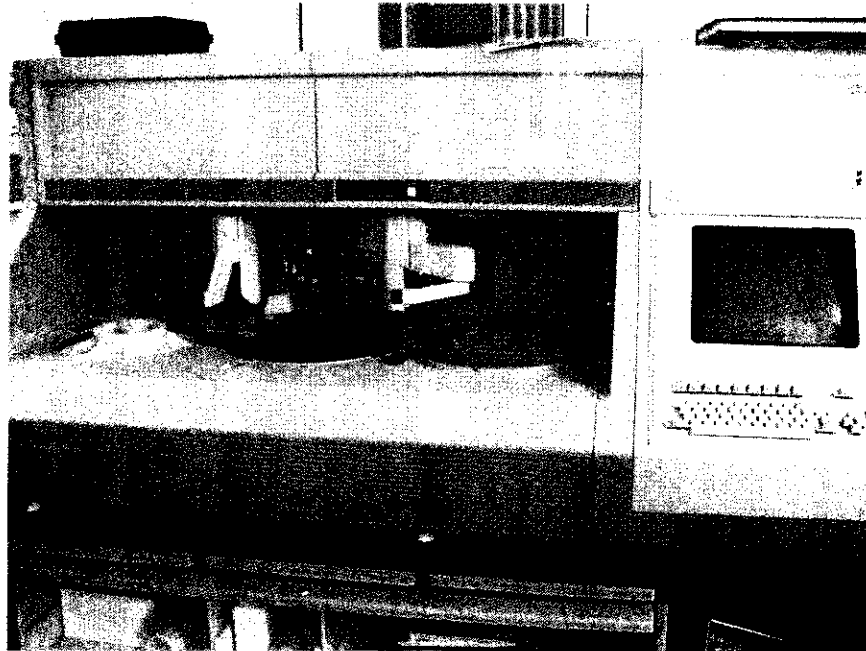


Figura No. 21: Análisis de actividad enzimática

Método 10: Determinación del pH de soluciones de detergentes

a. Reactivos utilizados

- Agua destilada

b. Equipo a emplear

- Medidor de pH.
- Electrodo de plata-cloruro de plata.
- Buffer de pH 7.

c. Principio: El análisis empleado se basa en el empleo de un electrodo de medición de pH, que es capaz de detectar la diferencia de potencial causada por la concentración de hidrógeno en solución. La calibración de este aparato debe de realizarse por medio de estándares de pH conocido, que permitan el fijar puntos de medición de potencial a lo largo de toda la escala. El electrodo generalmente es sensible a permanecer seco, por lo que debe de almacenarse en una solución de pH 7 para evitar el deterioro.

d. Procedimiento

- Pesar 1 g de la muestra a analizar y diluirla en 10 mL de agua.
- Agitar la solución hasta que se haya disuelto completamente.
- Enjuagar el electrodo con agua destilada abundante.
- Introducir el electrodo en la solución preparada y tomar la medición.
- Sacar el electrodo y enjuagarlo de nuevo con agua destilada.
- Almacenar el electrodo en buffer de pH 7.

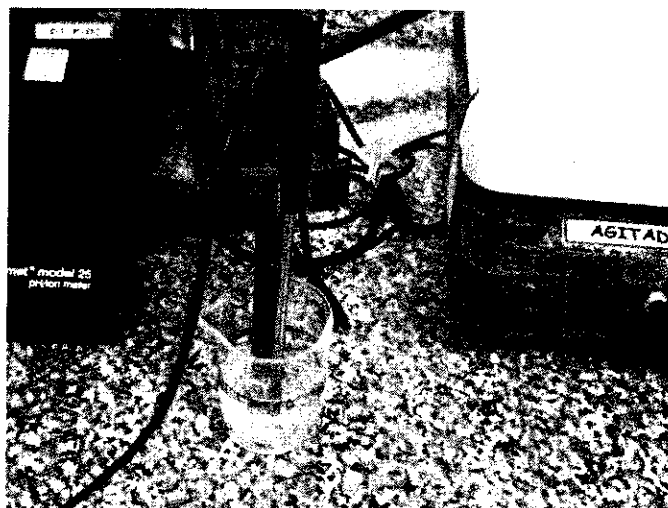


Figura No. 22: Análisis de medición de pH

Método 11: Medición cualitativa del contenido de perfume en detergentes

a. Reactivos utilizados

- Estándares de referencia autorizados por el centro regional de tecnología.

b. Equipo a emplear

- Refrigerador.
- Balanza analítica.

c. Principio: Los detergentes deben de llevar aromas que produzcan una sensación de limpieza y que permanezcan por un tiempo prolongado en la base del detergente. Para analizar muestras y calificar el contenido de perfume en las mismas, se ha creado en la planta de detergentes un panel de personas calificadas y certificadas, que tienen una capacidad considerable de percepción olfativa. Estas personas son capaces de detectar variaciones en la intensidad o en el matiz del olor que tiene el detergente, calificándolo con un número representativo de dicha característica.

d. Procedimiento

- Pesar 5 g de detergente perfumado en un vaso plástico con tapa.
- Pesar 5 g del estándar de olor en otro Vaso plástico con tapa e identificar ambos recipientes.
- Dejar que las muestras se estabilicen por media hora dentro del recipiente plástico.
- Convocar a mínimo 3 personas para evaluar el detergente en un cuarto de atmósfera controlada.
- Calificar las muestras según el siguiente criterio:
 - 5: Es una muestra de detergente que tiene un olor exactamente igual al olor del estándar.
 - 4: Es una muestra de detergente que tiene un olor ligeramente diferente al olor del estándar.
 - 3: Es una muestra de detergente que tiene un olor un poco diferente al olor del estándar.
 - 2: Es una muestra de detergente que tiene un olor moderadamente diferente al olor del estándar.

- 1: Es una muestra de detergente que tiene un olor mezclado con otro aroma diferente al olor del estándar.
 - 0: Es una muestra de detergente que tiene un olor Totalmente diferente al olor del estándar.
- Almacenar los estándares de olor en la Refrigeradora, para garantizar que el olor se conserve intacto por más tiempo.

Apéndice E: Método de implementación de fórmulas en la planta de detergentes

En la implementación de fórmulas existen tres mecanismos diferentes que pueden emplearse, que son: la modificación de la fórmula original, el desarrollo de una fórmula a partir de los requerimientos de los parámetros a medir y finalmente, la implementación de una fórmula aprobada y desarrollada por el centro regional de tecnología.

De cualquier manera, es indispensable para la producción, el garantizar que la fórmula puede tener la robustez suficiente, como para la producción en planta, y para soportar la vida útil del producto, así como su almacenamiento en bodegas y transportes de distribución.

La robustez de una fórmula es la característica que cualifica a las mismas, en dependencia de su resistencia a las variaciones en las condiciones de almacenamiento a través del tiempo, así como, su resistencia al ataque de químicos y microorganismos. Una fórmula solamente puede decirse que es o no robusta, los valores que la califican dependerán de escalas especialmente definidas, que se manejan en dependencia del lugar donde se evalúe.

En el caso de productos líquidos, es necesario el jugar con factores como la actividad de agua, los preservantes y los materiales a emplear, que serán la base para evitar las inestabilidades. La actividad de agua, será el parámetro que medirá la sensibilidad que tendrá una fórmula al ataque de ciertos microorganismos; este parámetro es clave para observar la posible presencia de bacterias gram negativas, gram positivas, o bien de Mohos y Levaduras. Los preservantes son los agentes o compuestos agregados a las fórmulas, a modo de prevenir la contaminación de microorganismos; sin embargo, su uso no es con el objeto primordial de eliminar los microorganismos presentes, sino de prevenir la contaminación del producto, cuando el usuario lo pone en contacto con el medio ambiente. Los materiales representan el factor que determinará la capacidad de un producto de ser atacado por microorganismos o químicos; desde luego, que no se espera que los productos sean resistentes al ataque de cualquier químico o microorganismo, pero sí a las condiciones extremas en las que los consumidores pueden emplear los productos.

Ahora bien, los productos sólidos usan casi exclusivamente las variaciones de materiales, como garantía de su robustez en los diferentes medios empleados para el producto. Esto se debe a que generalmente los productos de esta categoría presentan, debido a su estado, una actividad de agua demasiado baja como para ser susceptibles al ataque de microorganismos. De modo que para sólidos únicamente es necesario el evaluar los materiales, y la resistencia de estos a las condiciones extremas que pueda encontrar.

A pesar de las consideraciones anteriores, en las fórmulas de Detergentes, en realidad no es necesario el evaluar el medio en el que se disolverán los mismos, si la base empleada como ingrediente activo, continúa siendo la misma. De modo que para las comprobaciones de robustez, el método se basa casi exclusivamente en la evaluación de las condiciones extremas, a las que se pueda someter el detergente. Sin embargo, en el caso en que la base del ingrediente activo se cambiara a una sal de otro catión, diferente al que se está empleando, la evaluación de desempeño del detergente en pruebas de lavado, es indispensable para la determinación de la robustez de la fórmula.

1. Comprobación de la robustez de una fórmula nueva Desarrollada para la planta de Detergentes

a. Equipo a Utilizar

- Refrigerador con regulador automático de temperatura.
- Incubadora con regulador automático de temperatura.
- Cuarto de recepción de luz solar.
- Almacenamiento oscuro a temperatura ambiente.

b. Principio: Para la evaluación de la robustez de detergentes, es necesario el comprobar que la fórmula resiste a las condiciones extremas de almacenamiento, a las que se pueda someter la misma. De modo, que empleando una muestra de control a temperatura ambiente, es necesario someter a muestras idénticas, a las temperaturas más altas y bajas a las que se puede someter el producto, así como a las condiciones de iluminación solar máxima que podría tener el producto final. Si los análisis fisicoquímicos de las muestras colocadas en las diferentes condiciones de almacenamiento permanecen dentro de especificaciones, la fórmula puede considerarse como robusta.

c. Procedimiento

- Producir a escala laboratorio o con lotes pequeños, las muestras suficientes como para colocar un par de empaques en cada una de las condiciones de almacenamiento.
- Etiquetar apropiadamente las muestras, con el nombre del evaluador, fecha de revisión e ingreso y número de muestra.
- Almacenar las muestras en las diferentes condiciones preparadas.
 - Temperatura alta (43 °C)
 - Temperatura baja (5 °C)
 - Temperatura ambiente.
 - Radiación solar normal (exposición a la luz ultravioleta)
- Si se debe decidir entre varias fórmulas, extraer una muestra de cada fórmula de la condición de almacenamiento a temperatura ambiente y evaluar las características clave y de control.
- Decidir cual fórmula emplear.
- Extraer una de las muestras colocadas en cada una de las condiciones de almacenamiento, luego de transcurrido un mes, para la fórmula a emplear.
- Evaluar todas las características clave y de control del detergente.
- Identificar si la fórmula es robusta.



Figura No. 23: Añejamiento de las muestras producidas a baja temperatura (5 °C)



Figura No. 24: Añejamiento de las muestras producidas a alta temperatura (43 °C)



Figura No. 25: Añejamiento de las muestras producidas a temperatura ambiente



Figura No. 26: Añejamiento de las muestras producidas con radiación solar extrema (exposición a la radiación ultravioleta)

Apéndice F: Datos calculados para el diseño del equipo a utilizar en el proceso de fabricación de detergente en polvo

Tabla No. 56: Datos calculados para el diseño del mezclador de detergente en polvo

Volumen requerido del mezclador para una densidad de 1200 kg/m^3 (m^3)	Volumen requerido del mezclador para una densidad de 400 kg/m^3 (m^3)	Potencia final de la bomba (kW) con una eficiencia del 75%
0.73	2.2	173.4

Tabla No. 57: Datos calculados para el diseño de tornillos de dosificación de soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico empleados para la dosificación de estos materiales al mezclador

Material	Flujo del material (m^3/h)
Soda ash densa	3.57
Sulfato de sodio	3.07
Tripolifosfato pentasódico	1.73

Tabla No. 58: Datos calculados para el diseño de tornillos de dosificación de soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico empleados para la dosificación de estos materiales al mezclador

Material	Diámetro del tornillo (m)	Tamaño máximo de formación de terrones		Capacidad (m^3/h)		Área aproximada que ocupa el material (% en masa)
		Terrones al 25% (m/m)	Terrones 100% (m/m)	A 1 rpm	A rpm máx.	
Soda ash densa	0.23	1 1/2	3/4	0.16	7.93	30
Sulfato de sodio	0.23	1 1/2	3/4	0.16	7.93	30
Tripolifosfato pentasódico	0.23	1 1/2	3/4	0.16	7.93	30

Tabla No. 59: Datos calculados para el diseño de tornillos de dosificación de soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico empleados para la dosificación de estos materiales al mezclador

Material	Capacidad (m ³ /h)	Diámetro de las paletas (m)	Diámetro de la tubería (m)	Diámetro de eje (m)	Centros de barras de suspensión	Velocidad (rpm)	Potencia del motor para un tornillo con longitud máx de 4.6m	Capacidad máxima a la velocidad dada (kW)
Soda ash densa	5.7	0.23	0.063	0.051	3.05	40	0.32	3.58
Sulfato de sodio	5.7	0.23	0.063	0.051	3.05	40	0.32	3.58
Tripolifosfato pentasódico	5.7	0.23	0.063	0.051	3.05	40	0.32	3.58

Tabla No. 60: Datos calculados para el diseño de tanques de almacenamiento soda ash densa, sulfato de sodio, tripolifosfato pentasódico empleados para la dosificación de estos materiales al mezclador

Tanque	Relación altura/radio	V _{tanque completo} (m ³)	Altura inicial h (m)	Altura final h ₁ (m)	Altura del volumen del cono eliminado h ₂ (m)	Radio r ₁ (m)	Radio r ₂ (m)
Soda ash densa	1.43	1.39	1.39	1.37	0.033	1.07	0.114
Sulfato de sodio	1.19	0.615	0.94	0.9	0.013	0.87	0.114
Tripolifosfato pentasódico	1.19	0.46	0.85	0.8	0.013	0.79	0.114

Tabla No. 61: Datos calculados para el diseño de tanques de almacenamiento de ácido sulfónico, perfume, empleados para la fabricación de detergente en polvo

Tanque	Volumen del tanque estimado para 2 h (m ³)
Ácido sulfónico	0.4
Perfume	0.02

Tabla No. 62: Datos calculados para el diseño de la bomba de ácido sulfónico, empleada para la dosificación de este material al mezclador sigma

Viscosidad cinemática (cSt)
2500 cSt (11375 SSU)

Tabla No. 63: Datos calculados para el diseño de tanques de almacenamiento temporal de detergente en polvo

Volumen del tanque de almacenamiento temporal (m³)	Altura (m)	Largo (m)
2	2.06	1.03

Apéndice G: Datos calculados para el análisis de costos efectuado

Tabla No. 64: Datos calculados para la estimación de costos de mano de obra anual para la fórmula actual y para la fórmula propuesta

Nivel del Operador	Número de operadores empleados en el proceso actual	Costos anuales de la mano de obra empleada en la fórmula actual	Número de operadores empleados en el proceso propuesto	Costos anuales de la mano de obra empleada en la fórmula propuesta
1	6	Q 162,000.00	2	Q 54,000.00
2	4	Q 166,560.00	2	Q 83,280.00
3	3	Q 180,000.00	1	Q 60,000.00
4	1	Q 78,545.45	1	Q 78,545.45
	Total	Q 587,105.45	Total	Q 275,825.45

Tabla No. 65: Datos calculados para la estimación de costos unitarios de los materiales empleados en la fórmula propuesta y del ahorro unitario obtenido en comparación con la fórmula actual

Material a emplear	Costo unitario de la fórmula propuesta (Q. /kg)
Silicato de sodio	Q 0.11
Acido sulfónico lineal	Q 0.93
Sulfato de sodio	Q 0.23
Tinopal	Q 0.04
Abrillantador óptico (BH)	Q 0.01
STPP	Q 0.63
Carbonato de sodio	Q 0.48
Enzimas	Q 0.08
Perfume	Q 0.34
Costo total unitario de la fórmula propuesta (Q. /kg)	Q 2.86
Ahorro promedio con la fórmula propuesta (Q. /kg)	Q 0.90

Tabla No. 66: Datos calculados para la estimación Beneficios totales obtenidos con el empleo del proceso propuesto

Año	2005	2006	2007	2008	2009
Producción estimada para los siguientes cinco años (ton/año)	5510	6730	7950	8660	9540
Ahorro de materiales en cada año	Q4,947,747.40	Q6,043,255.90	Q7,138,764.40	Q7,776,314.42	Q8,566,517.28
Ahorro de personal promedio en cada año	Q311,280.00	Q311,280.00	Q311,280.00	Q311,280.00	Q311,280.00
Ahorro del empleo de combustibles en cada año	Q1,028,992.50	Q1,256,827.50	Q1,484,662.50	Q1,617,255.00	Q1,781,595.00
Beneficios económicos anuales estimados	Q6,288,019.90	Q7,611,363.40	Q8,934,706.90	Q9,704,849.42	Q10,659,392.28
Abono al capital invertido empleando un 40% de tasa de recuperación de la inversión	Q2,515,207.96	Q2,925,440.50	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Beneficios anuales obtenidos antes de impuestos	Q3,772,811.94	Q4,685,922.90	Q8,934,706.90	Q9,704,849.42	Q10,659,392.28

Tabla No. 67: Datos calculados para la determinación de costos de equipo por el método de gráficas

	EQUIPO							
	DESCRIPCIÓN	Factor base de módulo simple F_{CBM}	Costo de compra del equipo (material base) para el 1982	Costo de compra del equipo (material base) con corrección para el 2004	Datos de Factor de temperatura (FT), factor de material (FM)	Datos de factor de presión (FP)	Factor de módulo simple (CBM)	Factor de módulo simple (CBM) corregido para el año
DOSIFICADORES DE TORNILLO (SIN IMPULSOR) DE ACERO INOXIDABLE	TORNILLO DOSIFICADOR DE SULFATO DE SODIO	2.2	Q 16,000.00	Q 20,606.98			Q 35,200.00	Q 45,335.37
	TORNILLO DOSIFICADOR DE STPP	2.2	Q 16,000.00	Q 20,606.98			Q 35,200.00	Q 45,335.37
	TORNILLO DOSIFICADOR DE SODA ASH DENSA	2.2	Q 16,000.00	Q 20,606.98			Q 35,200.00	Q 45,335.37
IMPULSORES DE TORNILLOS DOSIFICADORES	IMPULSOR DE TORNILLO DOSIFICADOR DE SULFATO DE SODIO	2	Q 4,400.00	Q 5,666.92			Q 8,800.00	Q 11,333.84
	IMPULSOR DE TORNILLO DOSIFICADOR DE STPP	2	Q 4,400.00	Q 5,666.92			Q 8,800.00	Q 11,333.84
	IMPULSOR DE TORNILLO DOSIFICADOR DE SODA ASH DENSA	2	Q 4,400.00	Q 5,666.92			Q 8,800.00	Q 11,333.84
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SULFATO DE SODIO	4.1	Q 64,000.00	Q 82,427.94	1	1	Q 262,400.00	Q 337,954.54
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO STPP	4.1	Q 62,400.00	Q 80,367.24	1	1	Q 255,840.00	Q 329,505.68
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SODA ASH DENSA	4.1	Q 136,000.00	Q 175,159.37	1	1	Q 557,600.00	Q 718,153.40
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFÓNICO	6.6	Q 40,000.00	Q 51,517.46	2.5	1	Q 264,000.00	Q 340,015.24
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PERFUME	2.1	Q 16,000.00	Q 20,606.98			Q 33,600.00	Q 43,274.67
MEZCLADOR	MEZCLADOR SIGMA	2.5	Q 480,000.00	Q 618,209.52			Q 1,200,000.00	Q 1,545,523.81

Apéndice H: Cálculos de muestra del diseño de equipo efectuado y del método empleado en el análisis de costos

1. Diseño de un mezclador Sigma: Se espera tener una capacidad 800 kg/30 minutos para una mezcla con una densidad que puede variar de 1200 a 400 kg/m³. El mezclador a diseñar es un mezclador de doble brazo sigma. Para el diseño de éste se requieren los siguientes cálculos:

Para una densidad de 1200 kg/m³ y con un Factor de seguridad (Fs) del 10 % se obtiene lo siguiente:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Capacidad}}{\text{densidad}} \times Fs = \frac{800 \text{ kg}}{1200 \text{ kg/m}^3} \times Fs = 0.67 \text{ m}^3 \times 1.10 = 0.73 \text{ m}^3$$

Para una densidad de 400 kg/m³ y con un Factor de seguridad (Fs) del 10 % se obtiene lo siguiente:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Capacidad}}{\text{densidad}} \times Fs = \frac{800 \text{ kg}}{400 \text{ kg/m}^3} \times Fs = 2.00 \text{ m}^3 \times 1.10 = 2.20 \text{ m}^3$$

Como la densidad de la pasta varía, se elige la menor densidad 400 kg/m³, ya que en este caso, se obtiene el mayor Volumen, lo que según la siguiente tabla se traduce en un mayor requerimiento de potencia:

Tabla No.68: Características de un mezclador de doble brazo (tabla 18-3 (Perry, 2001))

Características de un mezclador de doble brazo					
Número de tamaño	Capacidad en m ³		Potencia comunmente proveida en kW		Espacio ocupado en m
	Trabajando	Máxima	Aspa Sigma, Aspa MWOL	Aspa de dispersión	
4	0.00265	0.00379	0.7457	1.4914	0.30 × 0.91
6	0.00871	0.01325	1.4914	3.7285	0.61 × 0.91
8	0.01703	0.02650	3.7285	5.59275	0.91 × 1.22
11	0.03785	0.05678	11.1855	14.914	1.52 × 1.83
12	0.07571	0.11356	18.6425	29.828	1.83 × 1.83
14	0.18927	0.28391	22.371	44.742	1.83 × 2.44
15	0.37854	0.56782	37.285	74.57	2.44 × 3.05
16	0.56782	0.85172	44.742	111.855	2.74 × 3.35
17	0.75709	1.13563	55.9275	149.14	2.74 × 3.96
18	1.13563	1.70345	74.57	-	3.05 × 4.27
20	1.89272	2.83908	111.855	-	3.35 × 4.88
21	2.27126	3.40690	130.4975	-	3.66 × 4.88
22	2.83908	4.25862	167.7825	-	3.66 × 5.18
23	3.78544	5.67816	223.71	-	4.27 × 5.49

Con la tabla No. 68 se obtiene que se para una pasta con una densidad de 400 kg/m^3 se necesita una potencia de 130.5 kW (175 hp) y un espacio en el piso de $3.66 \text{ m} \times 4.88 \text{ m}$. Es importante resaltar que hay que tomar en cuenta la eficiencia del motor para contar con la capacidad necesaria para mezclar la pasta, por lo que al tener una eficiencia $\eta=75 \%$ se obtiene una potencia final requerida para el mezclador de:

$$\text{Potencia final} = \frac{\text{Potencia según tabla}}{\eta} = \frac{130 \text{ kW}}{75\%/100\%} = 173.4 \text{ kW} (233.3 \text{ hp})$$

Como se puede observar en la tabla No.68, este valor obtenido de potencia final no es una potencia comúnmente proveída, por lo que se empleará una potencia de 223.71 kW (300 hp).

2. Diseño de tornillos de dosificación soda ash densa, STPP, sulfato de sodio: Para poder diseñar un dosificador de tornillo se requiere conocer algunas características de los materiales a dosificar (densidades, ángulo de reposo, si es corrosivo o no, etc).

Para esto, se emplea la siguiente tabla:

Tabla No.69: Densidades promedio y clasificación de los materiales (tabla 21-4 del Perry, 2001)

Material	Promedio de densidad bulto (kg/m^3)	Clase
Soda ash densa	881-1041	B27
Sulfato de sodio	1041-1361.5	B27
Tripolifosfato pentasódico	1041-1361.5	B27

Con los datos obtenidos por medio de esta tabla, se obtiene el rango de densidad de los materiales (Soda ash densa, Tripolifosfato pentasódico y Sulfato de sodio), así como también la clasificación de los mismo.

Con la clasificación obtenida B27, se puede emplear la tabla No.70, para conocer las características del material.

Tabla No. 70: Sistema de clasificación de sólidos a granel (tabla 21-3 del Perry, 2001):

	Características del material	Clase
Tamaño	Muy fino: <149 μm (malla 100)	A
	Fino: 149 μm a 3.18 mm (malla 100 a 1/8 in)	B
	Granular: 3.18 a 12.7 mm (1/8 a 1/2 in)	C
	Con terrones: >12.7mm (>1/2 in)	D
	Irregular: fibroso, pegajoso o similar	H
Fluidez	De flujo muy libre; ángulo de reposo de hasta 30 °	1
	De flujo muy libre; ángulo de reposo de 30 a 45 °	2
	Lento: ángulo de reposo de 45 ° o superior	3
Abrasividad	No abrasivo	5
	Moderadamente abrasivo	6
	Muy abrasivo	7
Características especiales	Contaminable, que afecta su uso o su venta	K
	Higroscópico	L
	Muy corrosivo	N
	Ligeramente corrosivo	P
	Desprende polvo o humos peligrosos para la vida	R
	Contiene polvos explosivos	S
	Degradable, que afecta su uso o su venta	T
	Muy ligero y esponjoso	W
	Entrelazado o en capas que resiste la excavación	X
	Que se airea y se vuelve fluido	Y
Se apelmaza bajo presión	Z	

Con la tabla se obtienen las siguientes características de los materiales:

- Sulfato de Sodio:

Según la tabla No. 69, el sulfato de sodio es una sal apelmazada pulverizada, por lo que se obtiene que este material tiene una densidad bulto promedio de 65-85 lb/ft³ (1041.2 -1361.5 kg/m³) y está clasificado como B27.

La clasificación B27 tiene el siguiente significado:

B= indica que es un sólido fino de 149 μm a 3.18 mm (malla 100 a 1/8 in).

2= Sólido que fluye libremente. Tiene un ángulo de reposo de 30 a 45 °.

7=Sólido ligeramente abrasivo.

Al tener estas características del material, se puede emplear la tabla No. 71 (tabla 21-2 del Perry, 2001) para conocer que para el sulfato de sodio es permisible utilizar un dosificador de tornillo.

- Soda Ash densa:

Según la tabla No. 67, la soda ash densa es un material que tiene una densidad bulto promedio de 55-65 lb/ft³ (880.9-1041.2 kg/m³) y está clasificado como B27.

La clasificación B27 tiene el siguiente significado:

B= indica que es un sólido fino de 149 μ m a 3.18 mm (malla 100 a 1/8 in).

2= Sólido que fluye libremente. Tiene un ángulo de reposo de 30 a 45°.

7=Sólido ligeramente abrasivo.

Al tener estas características del material, se puede emplear la tabla No. 71 para conocer que para la soda ash densa es permisible utilizar un dosificador de tornillo.

- Tripolifosfato Pentasódico(STPP):

El tripolifosfato pentasódico se asemeja a sal apelmazada, por lo que según la tabla No. 69, el tripolifosfato pentasódico (STPP) es un material que tiene una densidad bulto promedio de 65-85 lb/ft³ (1041.2 -1361.5 kg/m³)y está clasificado como B27.

La clasificación B27 tiene el siguiente significado:

B= indica que es un sólido fino de 149 μ m a 3.18 mm (malla 100 a 8).

2= Sólido que fluye libremente. Tiene un ángulo de reposo de 30 a 45°.

7=Sólido ligeramente abrasivo.




Por lo tanto, como los materiales a dosificar son materiales finos y de flujo libre, se puede observar en la siguiente tabla que se puede emplear un alimentador de tornillo.

Tabla No. 71: Alimentadores para materiales a granel (tabla 21-2 (Perry, 2001))

Características del material	Tipo de alimentador
Materiales finos, de flujo libre	De barras, de banda, oscilatorio o vibratorio, de paletas giratorias, de tornillo
Materiales no abrasivos y granulados, materiales con algunos terrones	De banda, de banda articulada, de barras, oscilador o vibrador, de movimiento alternativo, de placa giratoria, de tornillo
Materiales difíciles de manejar porque están calientes, son abrasivos, están formados por terrones o filamentos	De banda, de banda articulada, de barras, oscilador o vibrador, de movimiento alternativo
Materiales pesados, con terrones o abrasivos similares a minerales, gangas o guijarros	De banda articulada, oscilatorio o vibratorio, de movimiento alternativo

Para determinar la capacidad de cada tornillo dosificador, se debe utilizar las siguientes tablas:

Tabla No.72: Capacidades y condiciones de carga de transportadores de tornillo (tabla No. 21-5 del Perry, 2001)

Clase de material	Diámetro del tornillo, m	Tamaño máximo de terrones		Capacidad, m ³ /h		Área aproximada que ocupa el material
		Terrones 25%	Terrones 100%	A 1 rpm	A rpm máx.	
A,B,C,D y H 16,26,36	0.15	3/4	1/2	0.06	10.62	
	0.23	1 1/2	3/4	0.23	33.98	
	0.30	2	1	0.55	76.46	
	0.36	2 1/2	1 1/4	0.87	113.27	
	0.38	3	1 1/2	1.32	158.57	
	0.46	3	2	1.87	215.21	
0.51	3 1/2	2	2.69	283.17		
A,B,C,D y H 17,27,37	0.15	3/4	1/2	0.04	2.12	
	0.23	1 1/2	3/4	0.16	7.93	
	0.30	2	1	0.38	18.83	
	0.36	2 1/2	1 1/4	0.60	29.87	
	0.38	3	1 1/2	0.89	44.46	
	0.46	3	2	1.29	64.28	
0.51	3 1/2	2	1.76	87.92		
A,B,C,D y H 18,28,38	0.15	3/4	1/2	0.02	0.71	
	0.23	1 1/2	3/4	0.08	2.55	
	0.30	2	1	0.19	5.66	
	0.36	2 1/2	1 1/4	0.30	8.50	
	0.38	3	1 1/2	0.44	12.03	
	0.46	3	2	0.64	16.71	
0.51	3 1/2	2	0.88	22.09		

Es importante notar que todos los materiales a utilizar (sulfato de sodio, soda ash densa y tripolifosfato de sodio) entran en la misma clasificación de material B27.

Para poder emplear la tabla No. 72, se debe conocer la capacidad que se requiere para cada dosificador, la cual se estima de la siguiente manera:

Ejemplo: Sulfato de Sodio:

Se conoce, según la fórmula elegida (No.5), que el porcentaje en fórmula de este material es del 20%. Como las cargas en el mezclador son de 800kg, se obtiene con la ecuación (6) que la cantidad de material a dosificar de sulfato de sodio es:

$$\text{kg del material} = \text{Tamaño de la carga (kg)} \times \frac{\text{Porcentaje en fórmula}}{100\%} \quad (6)$$

$$\text{kg de material} = 800 \text{ kg} \times \frac{20\%}{100\%} = 160 \text{ kg}$$

Se tiene planificado que el batch de 800 kg tarde aproximadamente 30 minutos, por lo que se espera que la dosificación de sulfato de sodio tarde 3 minutos. Con estos datos, se puede obtener el flujo a necesitar del material. Al utilizar la densidad del material obtenida en la tabla No. 69, se obtiene la capacidad volumétrica del tornillo dosificador. A continuación se muestra en la ecuación (7) el cálculo realizado:

$$\text{Capacidad volumétrica} = \frac{\text{cantidad de material a dosificar (kg)}}{\text{tiempo de dosificación (h)}} \div \text{densidad del material (kg/m}^3\text{)} \quad (7)$$

Nota: en la tabla No.69 se muestra un rango de densidades. A continuación sólo se muestra el cálculo con la menor de éstas, ya que es la que requiere una mayor capacidad volumétrica:

$$\text{Capacidad volumétrica} = \frac{160 \text{ kg}}{0.05 \text{ h}} \div (1041 \text{ kg/m}^3) = 3.07 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Con este resultado y empleando la tabla No. 72, se puede observar que el diámetro del tornillo dosificador a utilizar para este material es de 0.23 m (9 in) con un área a ocupar del material del 30 %.

Con este misma capacidad volumétrica, se pueden obtener otras características del tornillo dosificador (diámetro de paletas, diámetro de tubería, potencia requerida del motor, etc.) (ver características en gris de la tabla No.73).

Tabla No. 73: Datos de transportadores de tornillo para material de 800 kg/m^3 y paletas espirales seccionadas montadas en tubería (tabla No. 21-6 (Perry, 2001))

Capacidad		Diámetro de paletas (m)	Diámetro de tubería (m)	Diámetro de ejes. (m)	Centros de barras de suspensión (m)	Tamaño máximo de terrones (m/m)			Velocidad rpm	Capacidad de torsión máxima J	Diámetro de la sección de alimentación m	Potencia del motor, kW					Capacidad máxima a la velocidad dada, kW
Ton/h	m ³ /h					Todo terrones	Terrones 20 a 25%	Terrones 10% o menos				Longitud máxima 4.6 m	Longitud máxima 9.1 m	Longitud máxima 13.7 m	Longitud máxima 18.3 m	Longitud máxima 22.9 m	
5	5.7	0.23	0.063	0.051	3.05	3/4	1 1/2	2 1/4	40	0.66	0.15	0.32	0.63	0.95	1.26	1.57	3.58
10	11.3	0.25	0.063	0.051	3.05	3/4	1 1/2	2 1/2	55	0.68	0.23	0.63	1.26	1.68	2.24	2.80	4.92
15	17.0	0.25	0.063	0.051	3.05	3/4	1 1/2	2 1/2	80	0.86	0.23	0.95	1.68	2.52	2.94	3.66	7.16
		0.30	0.063	0.051	3.66	1	2	3	45	0.86	0.25	0.95	1.68	2.52	2.94	3.66	4.03
20	22.7	0.30	0.063	0.051	3.66	1	2	3	60	0.86	0.25	0.95	1.68	2.52	2.94	3.66	8.72
		0.30	0.089	0.076	3.66	1	2	3	60	1.85	0.00	1.26	2.24	2.94	3.63	4.20	5.37
25	28.3	0.30	0.063	0.051	3.66	1	2	3	75	0.86	0.25	1.58	2.80	3.66	4.20	4.88	6.71
		0.36	0.089	0.076	3.66	1 1/4	2 1/2	3 1/2	45	1.85	0.00	1.58	2.80	3.66	4.20	4.88	6.71
30	34.0	0.36	0.089	0.076	3.66	1 1/4	2 1/2	3 1/2	55	1.85	0.30	1.68	2.94	3.77	5.03	5.59	10.66
35	39.8	0.36	0.089	0.076	3.66	1 1/4	2 1/2	3 1/2	65	1.85	0.30	1.95	3.42	4.40	5.22	6.52	12.60
40	45.3	0.41	0.089	0.076	3.66	1 1/2	3	4	50	1.85	0.36	2.24	3.36	5.03	5.97	7.46	9.69

3. Diseño de tanques de almacenamiento para sulfato de sodio, soda ash densa, STPP:

Para diseñar un tanque de almacenamiento de materiales, se deben utilizar las siguientes ecuaciones:

$$\tan \alpha = \frac{\text{altura}}{\text{radio}} \quad (8)$$

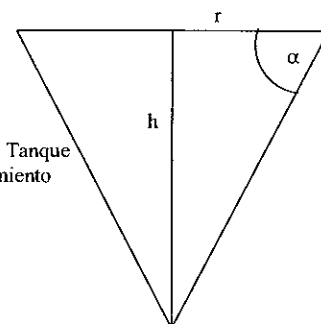


Figura No. 27: Tanque de almacenamiento

Nota: Al comenzar a diseñar el tanque de almacenamiento, se asume que el tanque es completo (ver figura 27).

Ejemplo: Determinación de relación h/r para el sulfato de sodio.

Se conoce que α para el sulfato de sodio está en el rango de $30-45^\circ$, sin embargo, por razones de mayor fluidez del material se agregará un factor de seguridad, y se obtiene un ángulo de $=50^\circ$. Por lo tanto, al emplear la ecuación (8) se obtiene lo siguiente:

$$\tan(50^\circ) = \frac{\text{altura}}{\text{radio}} = 1.19$$

Por lo que $r=h/1.19$. Con esta relación entre la altura del cono y el radio se puede utilizar la siguiente ecuación para obtener el volumen o altura del cono:

$$V_{\text{Cono}} = \frac{\pi}{3} \times r^2 \times h \quad (9)$$

donde V_{Cono} = Volumen del cono= capacidad volumétrica $\text{ft}^3/\text{h} \times \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ ft}^3} \times t_{\text{almacenamiento}}$

Se esperaría tener 2 horas el material en almacenamiento, por lo que se obtiene, por ejemplo para el tanque de almacenamiento de sulfato de sodio, lo siguiente:

$$V_{Cono} = 0.615 \text{ m}^3$$

Con esto, se puede despejar la altura de la ecuación (9), por lo que se obtiene:

$$h = \sqrt[3]{\frac{0.615 \text{ m}^3}{\pi} \times (1.19)^2} = \sqrt[3]{0.834 \text{ m}^3} = 0.94 \text{ m}$$

A la altura se le agrega un factor de seguridad del 10 % para que el material pueda fluir sin ninguna dificultad. Por lo tanto se obtiene que $h=0.94 \text{ m} \times 1.10=1.04 \text{ m}$. Con esto y con la relación obtenida con la ecuación (8) se obtiene el valor del radio:

$$r=1.04/1.19=0.87 \text{ m} \times F_s=0.87\text{m} \times 1.10\%=0.96 \text{ m}$$

Estos cálculos son en base a un cono perfecto, sin embargo, las tolvas requieren de una tolva de salida, que se recomienda sea igual al diámetro del tornillo dosificador. Para todos los materiales anteriormente mencionados, éste tiene un valor de 0.23 m (9 in). Es importante notar que al quitar modificar el tanque, la altura h también disminuye, obteniéndose una nueva altura h_1 :

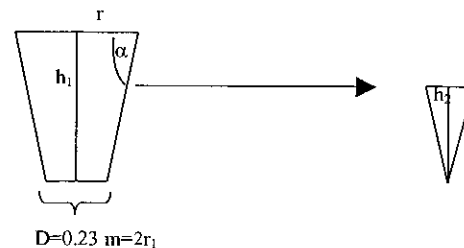


Figura No. 28: Tanque de almacenamiento

Para obtener la nueva altura se debe emplear la siguiente ecuación (6) realiza lo siguiente:

$$h_1 = h - h_2 = h - (\tan \alpha \times r_1) \quad (10)$$

Por ejemplo, en el caso del tanque de almacenamiento de sulfato de sodio, se obtiene:

$$h_1 = 1.03 \text{ m} - \left(\tan(50^\circ) \times \frac{0.23 \text{ m}}{2} \right) = 0.9 \text{ m}$$

4. Diseño de la bomba de desplazamiento positivo para ácido sulfónico: Para el diseño de la bomba que traslada ácido sulfónico de su tanque de almacenamiento al mezclador, se eligió una bomba de desplazamiento positivo de engranajes, por lo que para obtener las características de la misma se empleó un manual de las bombas Viking. A continuación se muestran los cálculos realizados para emplear el manual:

Se sabe que:

Densidad del ácido sulfónico = $1.2 \text{ kg/L} = 1200 \text{ kg/m}^3$, la presión requerida para la bomba es de 2068.9 kPa (300 psi) y la capacidad es de 1440 kg/h. Es importante notar que la curva del manual a emplear se encuentra en sistema inglés.

Para encontrar la curva a emplear, se debe conocer la viscosidad cinemática, por lo que se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (11)$$

donde,

ν = viscosidad cinemática en sSt

μ = viscosidad dinámica en kg/ms

ρ = densidad kg/m^3

Al emplear la ecuación (11) se obtiene lo siguiente:

$$\nu = \frac{3000 \text{ cP} \times \left(1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}\right)}{1200 \text{ kg/m}^3} = 0.0025 \text{ m}^2/\text{s} \times \frac{1 \text{ cSt}}{(1 \times 10^{-6}) \text{ m}^2/\text{s}} \times \frac{4.55 \text{ SSU}}{1 \text{ cSt}} = 11375 \text{ SSU}$$

donde SSU es el símbolo de viscosidad cinemática empleada en el manual de las bombas Viking.

También se sabe que la presión es de 2068 kPa (300 psi) por lo que al ver la capacidad de 5.28 gal en la gráfica se obtiene que la bomba a emplear requiere de 300 rpm y de 1.6 hp (se usará un factor de seguridad para obtener una bomba de 2 hp (1.49 kW)).

5. Diseño de Toberas para asperjar ácido sulfónico y perfume: Para el diseño de las toberas, se debe elegir el patrón de flujo con el que se busca asperjar el fluido. Las opciones que existen son las siguientes:

1. Apersión tipo dona
2. Aspersión en línea
3. Aspersión flujo sólido
4. Aspersión homogénea. Cono completo

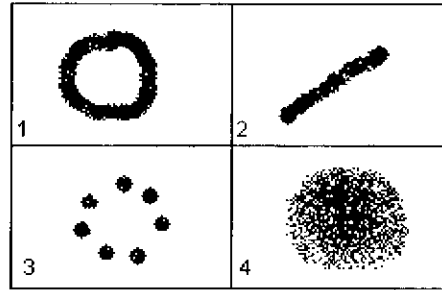


Figura No. 29: Tipos de aspersión

Para este caso se elegirá una tobera con un inserto, ya que éste ayudará a provocar un patrón de flujo tal, que se logrará conseguir una aspersión más uniforme en la esfera. De no emplearse un inserto, se puede dar el caso de tener una mayor cantidad de aspersión en el centro, mientras que en las orillas se dará una menor aspersión. Esto se logra, ya que en el inserto se da una caída de presión, lo que ayuda a generar mayor velocidad en el fluido. La velocidad hace que al llegar al orificio, se provoque una mejor aspersión del fluido. Mientras más pequeño sea el orificio, se dará mayor caída de presión, lo que se traduce en una mayor velocidad y en una aspersión más homogénea. Es importante también tomar en consideración que al disminuir el tamaño del orificio, se tendrá una menor cobertura de aspersión (ver figura 29-2). Es por esto que para la elección de las toberas tanto para el ácido sulfónico como para el perfume, se elegirá tener un inserto y un orificio de 1mm.

Del catálogo se obtiene las dimensiones de las toberas, según el flujo deseado y el material a emplear:

Símbolo	Descripción	Tamaño de orificio (m)	Diámetro de la carcasa de la tobera (m)	Largo de la tobera (m)	Diámetro del inserto (m)	Orificio del inserto (m)	Largo del inserto (m)
T-1	TOBERA DE ÁCIDO SULFÓNICO	0.001	0.0254	0.1	0.0127	0.002	0.03
T-2	TOBERA DE PERFUME	0.001	0.0254	0.1	0.0127	0.002	0.03

6. Diseño del almacenamiento temporal de detergente antes del llenado: Para el diseño del almacenamiento temporal de detergente se realizaron los siguientes cálculos:

Para una densidad final del producto de 400 kg/m^3 , un tanque de almacenamiento de 800kg y un factor de seguridad del 10% en volumen, se requiere tener totes (almacenamiento de lona) con un volumen de:

$$V_{\text{tote}} = \frac{\text{masa del detergente}}{\text{Densidad del detergente}} \times F_s = \frac{800 \text{ kg}}{400 \text{ kg/m}^3} \times 1.1 = 2.2 \text{ m}^3$$

Asumiendo una relación de $2 \times \text{lado} = \text{altura}$ y asumiendo una base cuadrada, se obtienen la siguiente dimensión para el tote:

$$V = l \times l \times (2a) = 2l^3$$

Por lo que se obtiene que el largo del tote es:

$$l = \sqrt[3]{\frac{V}{2}} = \sqrt[3]{\frac{2.2 \text{ m}^3}{2}} = 1.03 \text{ m}$$

y la altura es $\text{altura} = 2 \times \text{lado} = 2.06 \text{ m}$.

7. Determinación de costos de equipo: Para la determinación de los costos de equipo se emplearon gráficas de costos para cada uno de ellos.

A continuación se muestra la determinación del costo del impulsor del tornillo dosificador de sulfato de sodio, cuyas especificaciones/dimensiones se muestran a continuación:

- Motor eléctrico del transportador de tornillo a prueba de explosión con una capacidad máxima de 3.58 kW.

Con estas especificaciones, y empleando la gráfica siguiente, se obtiene que F_{BM} (factor base de módulo simple) para un transportador es de 2 y que a una potencia de eje de 3.5 kW se obtiene un costo de compra de equipo $C_{P1982} = Q 4400.00$ (\$ 550).

Es importante notar que el costo obtenido para la compra de equipo está contemplado para el año 1982, por lo que se debe hacer una corrección de este valor con el índice de costo de planta CE del presente año (2004)=405.7, por lo que se realiza lo siguiente:

$$C_{P2004} = C_{P1982} \times \frac{\text{índice de costo de planta CE de 2004}}{\text{índice de costo de planta CE de 1982}} = Q 4400.00 \times \frac{405.7}{315} = Q 5666.92$$

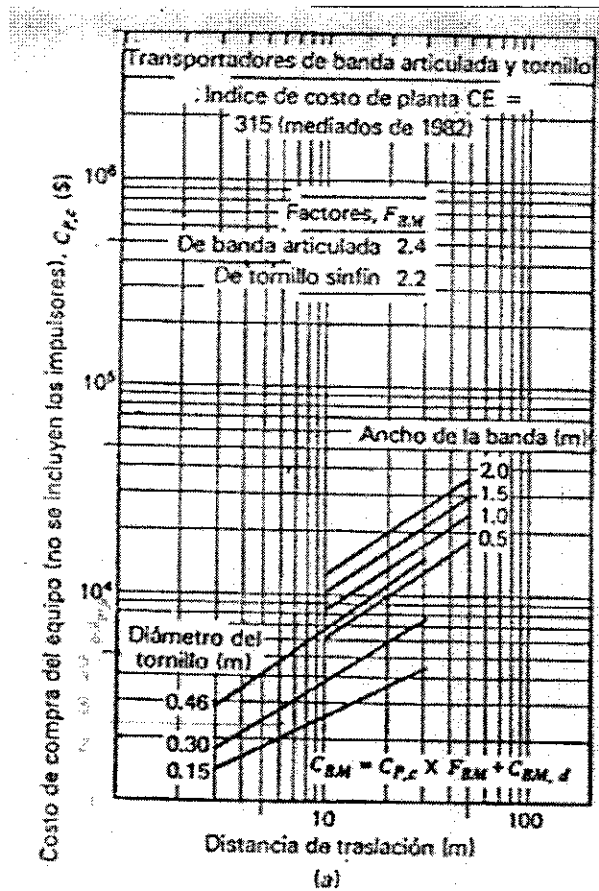


Figura No. 30: Gráfica utilizada para la determinación de costos del tornillo de dosificación de sulfato de sodio

8. Determinación de la recuperación de la inversión: Para determinar el tiempo de recuperación de la inversión (Q. 5,440,648.46) se lleva a cabo lo siguiente:

Se conoce que para la fórmula empleada en fase sólida, el costo unitario de cada material por kg de detergente es de 3.76, mientras que para la fórmula propuesta (No.5) es de 2.86, por lo que el ahorro en fórmula es de:

$$\text{Ahorro en fórmula} = 3.79 \frac{\text{costo unitario de material}}{\text{kg de detergente}} - 2.86 \frac{\text{costo unitario de material}}{\text{kg de detergente}} = 0.9 \frac{\text{costo unitario de material}}{\text{kg de detergente}}$$

El ahorro que se obtiene con esta nueva propuesta de proceso no sólo es un ahorro en cuanto a fórmula sino que también hay un ahorro en costos de personal, ya la cantidad de operadores se reduce. A continuación la fórmula empleada para determinar el ahorro que se obtiene:

$$\text{costo de mano de obra} = \text{No. de operadores} \times \frac{\text{suelo por operador}}{\text{día}} \times \frac{22 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \quad (12)$$

Por lo tanto, al emplear la fórmula No. 12 se obtiene el costo de mano de obra para cada diferente nivel de operadores:

$$\text{costo de mano de obra} = 6 \times \frac{Q102.27}{\text{día}} \times \frac{22 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = Q162,000.00$$

Al sumar el costo de mano de obra para cada tipo de proceso individualmente (proceso antiguo y proceso propuesto) y al restar estos valores se obtiene el ahorro anual de mano de obra:

$$\text{ahorro anual en mano de obra} = Q587,105.45 - Q275,825.45 = Q311,280.00$$

Es importante notar que también se obtiene un ahorro en uso de combustible, ya que para el nuevo proceso no se emplea. Por lo tanto, los ahorros que se obtienen son los siguientes:

$$\text{ahorro} = \text{Producción estimada para el año } i \times \text{uso de combustible} \times \text{costos de combustible para secado} \quad (13)$$

Al emplear la fórmula No. 13 se obtiene que para el año 2005:

$$\text{ahorro por combustible} = 5510 \frac{T_M}{\text{año}} \times 45 \frac{\text{kg de combustible}}{T_M \text{ detergente}} \times 4.15 \frac{Q}{\text{kg}} = Q1,028,992.50$$

Con los ahorros obtenidos tanto en mano de obra, combustible y cambio de fórmula se puede obtener el beneficio económico para un año específico, el cual es la suma de éstos:

$$\text{beneficio} = (\text{ahorros por mano de obra} + \text{combustible} + \text{cambio de fórmula}) \text{ para el año 2005} = Q6,288,019.90$$

Para poder determinar la recuperación de inversión se puede realizar de dos maneras: 1.) aportando todos los beneficios para pagar la inversión o 2.) aportando el 40 % de los beneficios para pagar la inversión.

A continuación se muestra la fórmula empleada para determinar el tiempo estimado de recuperación de inversión para el caso No. 1:

$$\text{tiempo estimado de recuperación de inversión} = \frac{\text{Costo estimado de maquinaria y equipo}}{\text{Beneficios económicos anuales}} \quad (14)$$

Por lo tanto se obtiene lo siguiente:

$$\text{tiempo estimado de recuperación de inversión} = \frac{Q5,440,648.46}{Q6,288,019.90} = 0.87 \text{ año} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 10.38 \text{ meses}$$

Para el segundo caso, en donde se proporcionará el 40 % del beneficio para pagar la recuperación de inversión, se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{saldo pendiente} = \text{Costo estimado de maquinaria y equipo} - 40\% \times \text{Beneficios económicos anuales} \quad (15)$$

Por lo tanto al emplear la fórmula No. 15 se obtiene que al pagar el 40 % del beneficio para la recuperación de la inversión durante el primer año queda un saldo pendiente de:

$$\text{saldo pendiente} = Q 5,440.648.46 - 40\% \times (Q 6,288.019.9) = Q 2,515,207.96$$

Por lo que para terminar de pagar la inversión en el segundo año sólo se debe pagar el 38% del beneficio económico anual:

$$\% \text{de beneficio a pagar} = \frac{\text{saldo pendiente}}{\text{Beneficio para el segundo año}} = \frac{Q 2,515,207.96}{Q 7,611,363.40} \times 100\% = 38\%$$

Por lo tanto, para el caso No.2 se deja de pagar la inversión al tercer año.

9. Diseño de soporterías para equipo empleado en el proceso: A continuación se muestran un diagrama que representa el tipo de soportaría que se debe emplear para el equipo elegido para el proceso.

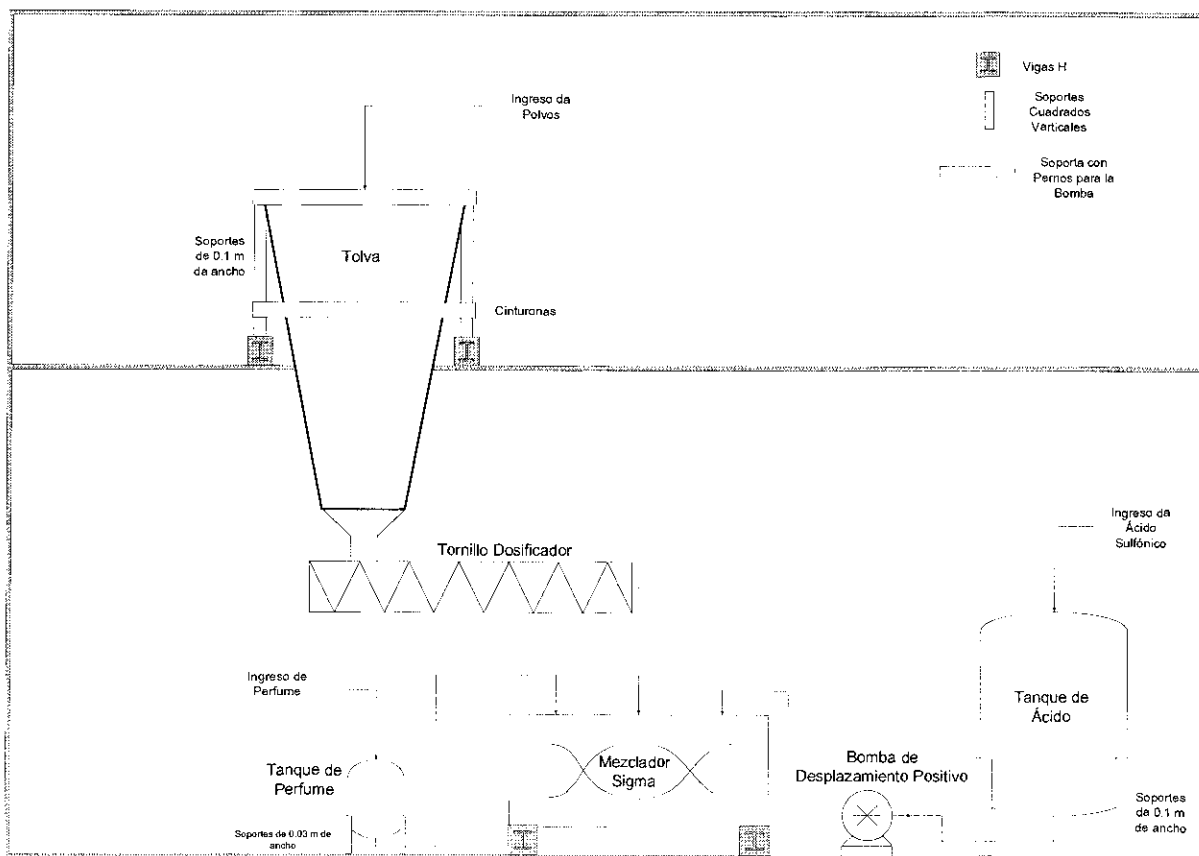


Figura No. 31: Diagrama del diseño de los soportes empleados para los equipos necesarios en el proceso propuesto.

Para el caso del tanque de ácido sulfónico, se puede emplear un soporte de 0.1 m de ancho, ya que el peso del tanque es menor a 5 ton. Lo mismo se da para el caso del tanque de perfume. Sin embargo, por tener éste un menor peso que el de ácido, se emplean soportes de 0.03 m de ancho. Es importante notar que estos soportes sirven para sostener a los tanques tanto verticalmente como para anclaje de los mismos.

Para el caso de la bomba de ácido sulfónico, se emplean un soporte con pernos, lo que hace que la bomba sea ajustable. Por otro lado, el tornillo está soldado a la tolva, lo que evita que se necesite otro soporte para éste. La tolva si tiene un soporte de 0.1 m de ancho y está sobre 2 vigas H. Es importante resaltar que, por ser la tolva un equipo con mayor peso y por estar en un nivel elevado, requiere además de cinturones (ver figura No. 31). En el caso del mezclador sigma se emplean se coloca el mezclador sobre 2 vigas H.