

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO MECÁNICO DE UNA LAVADORA DE BOTELLONES PLÁSTICOS DE 20
LITROS CON UNA PRODUCCIÓN APROXIMADA DE 250 BOTELLONES POR
HORA**

Tesis para optar el título de **INGENIERO MECÁNICO**, que presenta el bachiller:
Marco André Roncal Vivanco

Asesor: Ing. Walter Tupia

Lima, Junio 2014

Resumen

En el presente trabajo se brinda una alternativa más apropiada a la necesidad del mercado peruano de una lavadora de botellones de capacidad media. Esto se realizó mediante el diseño mecánico de una lavadora que cumple con una frecuencia de lavado aproximada de 250 botellones por hora, lo cual se determinó en función a la duración de cada una de las etapas del lavado y del tiempo de transición entre ellas. Adicionalmente, se diseñó teniendo en mente obtener una máquina más económica que otras opciones del mercado, para lo cual todos los componentes para su construcción se seleccionaron con la condición de que se encuentren disponibles en el mercado local, evitando así gastos de importación.

Este tipo de máquinas es sin duda bastante requerido por las industrias peruanas como lo demuestra el estudio realizado por el ICON Group Ltd. (1) el cual señala a Perú como el principal importador de máquinas lavadoras en Sud América, lo cual demuestra la alta demanda que existe en el mercado local.

Para lograr los objetivos planteados por la tesis se siguió el método de diseño VDI 2222, en donde se determinaron los requerimientos y alcances de la máquina y se llegó a un concepto de solución único que se utilizó para el desarrollo del mismo.

Se tomó en consideración que la máquina será parte de una línea de producción cuya siguiente fase sería el proceso de llenado de los botellones. Para esto, el diseño contempló la implementación de un transportador de rodillos que recibirá los botellones limpios y podrá conectar ambas máquinas. Se consideró además la reutilización del agua de lavado para la limpieza de la planta y su recirculación y reutilización en la misma máquina, no solo por economía, pero pensando también en la conservación del medio ambiente.

LISTA DE SÍMBOLOS

C – capacidad de carga dinámica (N)	T – momento torsor (N.m)
Cp - fuerza total de tracción de la cadena (N)	v – viscosidad cinemática (mm ² /s)
Ct – capacidad de transmisión (HP)	V – velocidad desarrollada en la actividad (m/s)
d – diámetro (mm)	W – potencia (kW)
e – rugosidad (mm)	Wc – unidad de peso por unidad de longitud (kg/m)
E – módulo de elasticidad (N/mm ²)	Z – número de dientes del sprocket
f – deflexión (mm)	ΔZ – diferencia de altura (m)
F – fuerza (N)	μ_c – coeficiente de fricción
H – altura manométrica (m)	ω – velocidad angular (rad/s)
I – momento de inercia (mm ⁴)	τ = esfuerzo cortante (MPa)
L - distancia entre centros (m)	τ_d = esfuerzo cortante de diseño (MPa)
m – masa (kg)	σ_d = esfuerzo de fluencia de diseño (MPa)
n – eficiencia (%)	
N – velocidad angular (rpm)	
p – paso de la cadena (pulg)	
Q – fuerza distribuida (N/mm)	
Sy – esfuerzo de fluencia (MPa)	
t – tiempo (s)	

INDICE

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DISEÑO MECÁNICO DE UNA LAVADORA DE BOTELLONES PLÁSTICOS DE 20 LITROS CON UNA PRODUCCIÓN APROXIMADA DE 250 BOTELLONES POR HORA

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE	3
1.1 INDUSTRIA DEL EMBOTELLADO DE AGUA	3
1.2 BOTELLAS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	16
1.3 LAVADO DE BOTELLONES	17
1.4 ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE	25
CAPÍTULO II: DISEÑO PRELIMINAR	27
2.1 METODOLOGÍA DEL DISEÑO	27
2.2 LISTA DE EXIGENCIAS, ESTRUCTURA DE FUNCIONES Y MATRIZ MORFOLÓGICA	28
2.3 CONCEPTOS DE SOLUCIÓN	33
.....	34
2.4 DETERMINACIÓN DEL CONCEPTO ÓPTIMO	37
CAPÍTULO III: CÁLCULOS	42
3.1 CÁLCULOS PRELIMINARES	42
3.2 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE CADENAS Y SISTEMA DE TRANSPORTE	44
3.3 CÁLCULOS DE EJES Y CHAVETA	54
3.4 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO	71
3.5 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA	85
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTOS	87
4.1. COSTO DE MATERIALES Y EQUIPOS	87
4.2. COSTO DE FABRICACIÓN Y OPERACIÓN	90
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:	93

CONCLUSIONES:	94
LISTA DE PLANOS	95
BIBLIOGRAFÍA	99



INTRODUCCIÓN

Un grave problema del cual se habla actualmente en todo el mundo es de la alta contaminación en nuestro planeta, por lo que actualmente nos encontramos en una búsqueda constante de maneras para poder revertir o, al menos, atenuar este daño. Tres de los procesos más importantes que ayudarían a combatir este problema son reutilizar los productos contaminantes, reciclarlos o reducir su consumo.

Dicho esto, en la industria del embotellado de agua se utiliza actualmente algunos métodos para reducir el impacto ambiental como son utilizar menos plástico en la producción de cada botella o fabricarlas de un plástico que pueda ser posteriormente lavado y reutilizado.

Con un enfoque en esta segunda alternativa, este trabajo consistirá en diseñar una máquina lavadora de botellones de agua, en particular, para una frecuencia de lavado que satisfaga requerimientos intermedios por encontrarse en el mercado solo los dos extremos en cuanto a calidad de las lavadoras, es decir, o muy rudimentarias o altamente automatizadas para capacidades muy grandes. Esto se realizará proponiendo diferentes conceptos de solución y eligiendo el más óptimo según el método de evaluación de proyectos por valor económico y técnico.

Actualmente existen en el Perú empresas dedicadas al tratamiento y envasado de agua que requieren expandirse y aumentar su producción. Uno de los principales inconvenientes que se afrontan es que la productividad no se puede aumentar debido a que el tiempo en el proceso de lavado de los bidones es, por lo general, mayor que el tiempo de envasado y existe un vacío en la oferta de máquinas de mediana capacidad. Esto se solucionaría entonces automatizando el proceso de lavado y teniendo como parámetros a satisfacer, frecuencias medias de producción.

Otro problema de algunas de las máquinas usadas actualmente en esta industria es que tienen un gasto excesivo de agua y la poca automatización hace que sean necesarios varios operarios para manualmente colocar y sostener los botellones durante el lavado. Se buscará entonces la reducción del consumo mediante la reutilización de la misma, ya sea recirculándola en la misma máquina o utilizándola para otras tareas de limpieza fuera de la lavadora de botellones.

El presente trabajo, por lo tanto, buscará optimizar este proceso reduciendo el consumo de agua en favor tanto de la economía como de la conservación del medio ambiente y a su vez presentar una opción atractiva al mercado local, tanto en prestaciones, economía de consumo y costo total de la fabricación de la máquina. Para esto, se realizará un análisis estimado de costos al finalizar el trabajo.

El método de diseño utilizado en este proyecto será el propuesto por el VDI 2222 ya que cuenta como ventajas la casi nula necesidad de experiencia previa del diseñador, ser un método sistemático y permitir la adaptación de sus diferentes fases conforme se desarrolla el proyecto, lo cual traerá consigo la posibilidad de optimización constante.

CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE

El objetivo de este capítulo es dar a conocer los diferentes principios de funcionamiento de una máquina lavadora de botellones, mostrar algunas de las máquinas existentes y extraer de ello los parámetros generales que toda máquina de este tipo debería tener. Además se revisará brevemente un estudio de mercado sobre las lavadoras de botellas que se utilizan en Latinoamérica y nuestro país.

1.1 INDUSTRIA DEL EMBOTELLADO DE AGUA

1.1.1 PRINCIPALES PRODUCTORES Y PROVEEDORES DE LAVADORAS DE BOTELLONES EN EL PERÚ Y LATINOAMÉRICA

El ICON Group Ltd., cuyo rubro es el de asistir con información sobre las necesidades internacionales bajo demanda, realizó un estudio el 2009 sobre el mercado de importación y exportación de maquinaria para el lavado y secado de botellas u otros contenedores en Latino América (1).

Se muestra a continuación algunos datos interesantes revelados por este estudio como son los principales países proveedores de este tipo de máquinas a Latino América (Tabla 1.1) y los mayores exportadores de las mismas para Perú específicamente (Tabla 1.2).

Tabla 1.1:
Suministros mundiales para la exportación de maquinaria para el lavado y secado de botellas (2009):

Exportadores	Ranking	Valor (000 US\$)	% del mundo	% Acumulado
Alemania	1	103,127	33,7	33.70
Italia	2	52,475	17,15	50.84
Francia	3	18,681	6,1	56.95
EE.UU.	4	18,480	6,04	62.98
Suiza	5	15,452	5,05	68.03
Otros		97,835	31,96	100
Total		306,050	100	100

Fuente: Philip M. PARKER, Professor, INSEAD, copyright 2009, www.icongroponline.com

Tabla 1.2:
Importación de maquinaria para el lavado y secado de botellas en Perú (estructura de la competencia en importación extranjera):

País de destino	Ranking	Valor (000 US\$)	% del mundo	% Acumulado
Brasil	1	464	76,07	76,07
Alemania	2	126	20,66	96,72
EE.UU.	3	13	2,13	98,85
Italia	4	7	1,15	100
Total		610	100	100

Fuente: Philip M. PARKER, Professor, INSEAD, copyright 2009, www.icongroponline.com

Como se puede apreciar en las tablas mostradas anteriormente, los mayores exportadores de este tipo de máquinas se encuentran en Europa. Sin embargo, Brasil es el principal proveedor para el Perú, siendo una de las causas probables la cercanía geográfica y el ahorro en costos de importación que ello conlleva. Se puede inferir entonces la ventaja en cuanto a costos de producir una máquina lavadora de botellones utilizando únicamente elementos disponibles en el mercado nacional.

1.1.2 PRINCIPIOS DE LAVADO

En la industria de embotellado de agua tenemos una gran variedad de máquinas lavadoras para distintas capacidades, distintos recipientes y con distintos niveles de exigencia en cuanto a la calidad del lavado. A pesar de esta gran variedad, se pueden definir o diferenciar según los siguientes parámetros:

- **Capacidad de la máquina:** Este parámetro nos define el número de botellas que la máquina puede lavar por unidad de tiempo. Lo más empleado por los fabricantes es botellas/hora y es el que se usará de aquí en adelante en este trabajo.
- **Ancho de la máquina:** Nos define el ancho según la capacidad de bidones que entran a la máquina por vez. Este parámetro estará sujeto a la cantidad de

botellones a lavar y a las dimensiones máximas que la máquina pueda tener según la planta en donde será instalada.

- **Frecuencia de la máquina:** Parámetro que define el número de veces que la máquina es cargada con botellones por unidad de tiempo. Las unidades serán de cargas o descargas/minuto y se fijará según los requerimientos de la planta.
- **Tiempo de lavado:** Indica el tiempo durante el cual los botellones están siendo bañados por la solución de agua con agente limpiador. Este parámetro deberá ser regulable por el operario y se fijará según los residuos que estén contenidos en los bidones entrantes. Las unidades para este parámetro será en segundos.

Aparte de estos parámetros de trabajo de la máquina, se pueden identificar las siguientes estaciones que componen una máquina lavadora:

- **Mesa de carga:** Es la parte de la máquina que recibirá los bidones sucios y los alistará para el lavado. Este proceso se podrá hacer de forma manual para volúmenes pequeños o automática si los bidones son alimentados por una faja transportadora y hay un mecanismo que los coloque adecuadamente. En este caso el requerimiento es de 200 botellones/hora = 3.3 botellones/minuto por lo que el alimentado manual es una opción a considerar. De una u otra manera, en la zona de carga debe haber un mecanismo de sujeción y auto alineamiento del botellón.
- **Zona de pre-enjuague:** En esta zona el objetivo es el de remover la mayor parte de residuos grandes que se pueden alojar dentro de los botellones cuando recién entran a la máquina. Existen principalmente dos métodos para realizar esta tarea y son inyectar chorros a presión de solución agua-agente limpiador o agua recuperada y por remojo, que consiste en sumergir totalmente el botellón. En este caso la

primera opción sería la más adecuada ya que al trabajar con botellones de 20 litros de capacidad, el tiempo de llenado y peso luego de ser sumergido serían muy grandes para manejar.

- **Zona de enjuague:** Como dicho en el punto anterior, el remojo está descartado por lo que esta zona estará conformada principalmente por inyectores de agua a presión cuya finalidad es la de lavar por dentro y fuera los botellones. En caso la presión sea muy alta, debe haber algún método de sujeción que impida que las botellas se salgan de las portabotellas. Sin embargo, es posible sincronizar los chorros interior y exterior para que las fuerzas ejercidas sobre el botellón se anulen con lo cual garantizaremos que no se salgan de los portabotellas. Para este proceso se puede usar también agua fresca o recuperada según se requiera. Existen además dos tipos de enjuague, el alternativo en el cual las boquillas están fijas y las botellas se detienen por un determinado lapso de tiempo para ser lavadas y luego continuar el recorrido. El otro sistema es continuo y consiste en el movimiento a velocidad constante de los botellones y las boquillas inyectan la solución limpiadora acompañando a los botellones por una cierta distancia y luego regresan a repetir el ciclo con el siguiente lote.
- **Tanques:** Es donde se almacena la solución agua-agente limpiador a determinadas temperaturas controladas. Existen dos sistemas en los cuales los tanques son utilizados de distinta manera, uno es usarlos como tanque de remojo por donde las botellas se harán circular para sumergirlas y otro es el de tanques de almacenamiento cuya función será el de contener el agua o solución agua agente limpiador que será bombeada directamente a las botellas. En este caso, el diseño de la máquina deseada recurrirá al uso de los tanques de almacenamiento ya que no se empleará el método de sumersión. Cada uno de estos tanques podrán estar a

una temperatura distinta según el proceso de lavado lo requiera. Esto se ejemplifica en la Figura 1.1 por los diferentes colores de cada uno de los tanques.

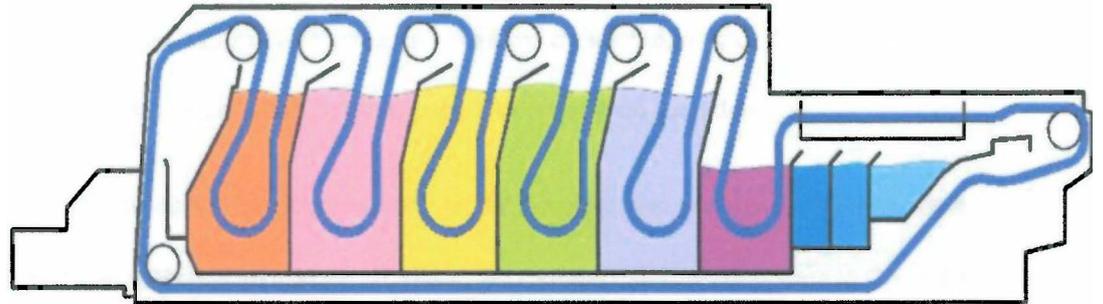


Figura 1.1. Esquema de máquina lavadora con tanques de remojo (12)

- **Transmisiones:** Es el conjunto de componentes utilizados para mover los mecanismos de la máquina. Comúnmente se utilizan reductores, cadenas, engranajes, levas etc. El torque requerido es preferiblemente extraído de un solo motor y se distribuye mediante los reductores para garantizar así el sincronismo de los mecanismos y una precisa transmisión del movimiento. En la Figura 1.2 se puede apreciar el sistema de transmisión de una máquina lavadora de botellas de vidrio con capacidad de hasta 48000 BPH.



Figura 1.2. Sistema de transmisión de lavadora de botellas (12)

- **Sistemas de calentamiento:** En este caso se pueden utilizar intercambiadores de calor o serpentines de tubería directamente dentro del tanque los cuales trabajan con agua caliente, vapor o aceite caliente según convenga. El objetivo de este sistema es mantener la temperatura necesaria de los fluidos a utilizar para que las propiedades de estos sean óptimas para la remoción de suciedad.
- **Mesa de descarga:** Su función será la de devolver los botellones limpios. Este proceso, al igual que en el anterior, podrá ser manual o automático. Para la descarga automática existe un método con el cual las botellas se depositan solas en la faja, por la acción de la gravedad, aunque ayudados por mecanismos para evitar el congestionamiento y guías para que estos no se caigan y queden correctamente colocadas en la faja. En la Figura 1.3 se puede apreciar este sistema para el caso de botellas de vidrio de poca capacidad, pero cuyo principio es el mismo para botellas de otras dimensiones y capacidades. En la Figura 1.4, por ejemplo, se puede ver la mesa de descarga de una máquina lavadora de botellones de agua para un volumen de producción bastante elevado, lo que se puede inducir por la cantidad de guías de las que dispone (2).

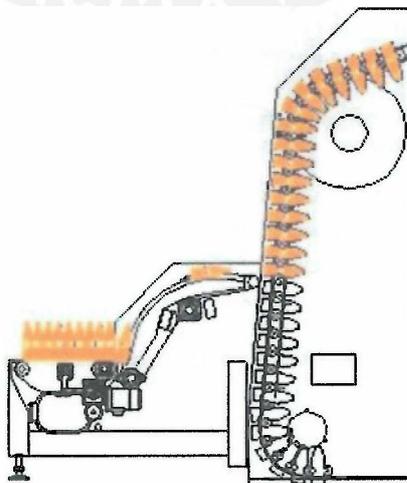
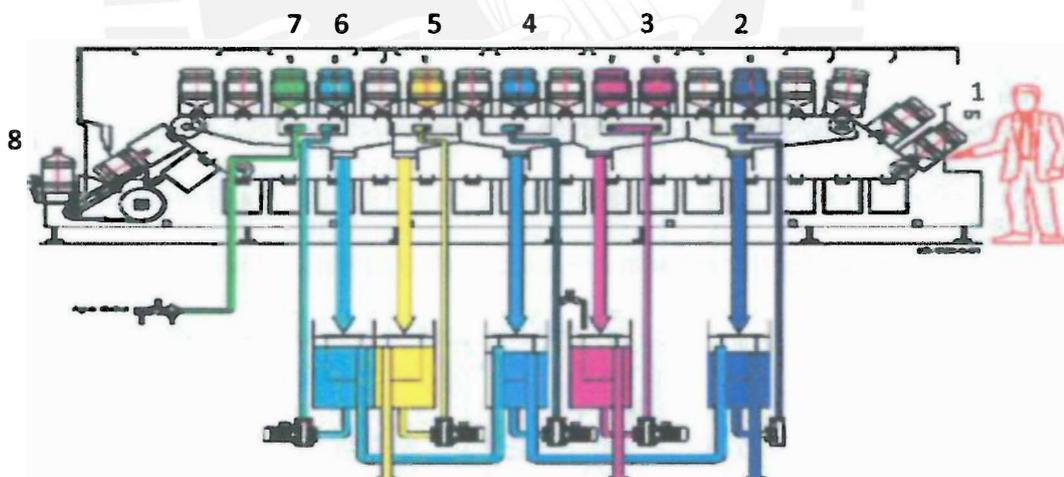


Figura 1.3. Esquema del sistema de descarga de botellas de una máquina lavadora (12)



Figura 1.4. Mesa de descarga de una máquina lavadora de botellones de 5 galones con capacidad para 1200BPH (12)

Se puede esquematizar entonces un diagrama de una máquina con los procesos antes mencionados como el de la Figura 1.5:



- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Introducción manual de botellones | 5. Inyección desinfectante 45°C |
| 2. Inyección de pre-lavado | 6. Inyección Aclarado 2 |
| 3. Inyección de detergente a 60°C | 7. Inyección de agua fresca |
| 4. Inyección aclarado 1. | 8. Evacuación de botellones |

Figura 1.5. Esquema de máquina lavadora de botellones (13)

Se describirán a continuación tres lavadoras distintas, diseñadas para diferentes capacidades, exigencias e incluso botellas a lavar. Todas estas, de un modo u otro, cuentan con todos los parámetros y estaciones descritos anteriormente.

La primera máquina es de la empresa CISER S.R.L. y es una lavadora-llenadora que trabaja por inyección. Está diseñada para capacidades bajas ya que se necesita de un operario que se encargue de la carga, descarga y sujeción de las botellas a lavar o llenar en cada caso. Esta lavadora es adaptable para botellas desde medio litro hasta botellones de 20 litros con la ayuda de surtidores intercambiables, los cuales son simplemente tubos de PBC que redirigen y dividen el chorro de agua según corresponda. En caso de los botellones de 20 litros, se lavarán de uno en uno (sin surtidor) con lo cual la capacidad rondará los 80 botellones por hora. Este equipo cuenta con dos bombas de 1HP cada una, lo cual proporciona una presión de 45 psi para el lavado y enjuague. Esta máquina no cuenta con ningún sistema de calentamiento de agua y no tiene ningún tipo de sistema de recuperación del agua de lavado.

La segunda máquina que se presenta es de la empresa CapSnapEquipment que trabaja con botellones de hasta 5 galones (18.9 litros) y puede manejar un volumen de producción de entre 900 a 3000 botellas por hora (BPH). En la Figura 1.6 se muestra la lavadora en cuestión la cual tiene un ancho con capacidad para 10 botellones (4).



Figura 1.6. Lavadora de botellones con capacidad para 3000 BPH (4).

Especificaciones:

- Ancho de entre 4 a 10 botellones.
- Diseñado para botellas de 3 y 5 galones.
- Las piezas en contacto con agua están fabricadas en acero inoxidable (304 y 316l).
- Carga y descarga de botellas automatizada.
- Ciclos separados de pre-lavado, lavado con agua reciclada, enjuague con agua reciclada, desinfectado (lavado con solución agua-agente limpiador) y enjuague final.
- Ciclos de desinfectado y enjuague final ajustables para minimizar gasto de agua.
- Múltiples opciones de calentadores para la solución agua-agente limpiador.
- Técnica de lavado de alta presión HydroJet X-Stream™ que trabaja con presión de lavado de hasta 60-75 PSI (4+ bar). Lavado con la solución agua-detergente se recircula para maximizar la eficiencia de lavado.

- **Hyper-Ozonator™:** Provee agua ozonizada (hasta 1.5 ppm) para el desinfectado de los botellones seguido de agua de enjuague recirculada. Requiere una máquina generadora de ozono.

Este equipo puede utilizar además tres tipos de calentadores para la solución agua-detergente como son intercambiadores de calor, calentador a gas o resistencias eléctricas.

Todo el proceso de lavado empieza con los botellones sucios colocados de forma horizontal en la lavadora. Este proceso puede ser manual para capacidades bajas de hasta 600 BPH pero para mayores capacidades se usará un sistema automatizado. Después de cargados, se procede con el lavado, enjuague con agua recirculada, desinfectado y la estación de enjuague final, parando entre cada estación por un determinado tiempo (ajustable) para que el agua en los botellones pueda ser drenada. El lavado dura, de principio a fin, aproximadamente un minuto. Después de la fase de lavado principal y el enjuague final unas toberas inyectan aire comprimido para remover toda el agua acumulada en las botellas. Se distinguen entonces cuatro estaciones principales para el lavado que son:

- **Lavado principal:** La solución agua-agente limpiador se calienta a una determinada temperatura para una mayor eficiencia de lavado. Después de calentada, la bomba principal hace circular la solución a una presión elevada hacia las toberas de acero inoxidable con un flujo mayor a 23 litros/min (6 GPM). Se tienen entre 4 y 8 estaciones de lavado, según el modelo específico.
- **Enjuague con agua recirculada:** Agua semi fresca se recircula desde el tanque de agua para enjuague. Las botellas son inyectadas por dentro y fuera para remover cualquier residuo de detergente y el agua es drenada de vuelta al tanque donde se filtra y recircula nuevamente. Paralelamente, el tanque es alimentado constantemente con agua fresca para mantener muy bajos los niveles de detergente y el flujo extra se va al desagüe.

- **Desinfección:** Para este proceso se puede usar agua clorada, ozonizada o en combinación con agentes desinfectantes. La solución es bombeada desde un tanque externo y se inyecta dentro de la botella por un tiempo que asegure el contacto con todas las paredes interiores de esta. Esta solución es también recolectada en el tanque de enjuague ayudando a mantenerlo desinfectado.
- **Enjuague final:** Agua fresca se inyecta en las botellas para remover definitivamente cualquier residuo de detergente dejando la botella completamente limpia y lista para el llenado. Después de este enjuague, el exceso de agua se elimina con aire comprimido.

En la Figura 1.7 se muestra entonces un esquema de la disposición de esta lavadora. En este caso se trata de una con 12 estaciones de lavado, uno de los cuales es de lavado principal, uno de pre-enjuague, tres de drenado, dos de enjuague final, dos de enjuague con agua recirculada, uno de lavado y dos de lavado con cabezal móvil.

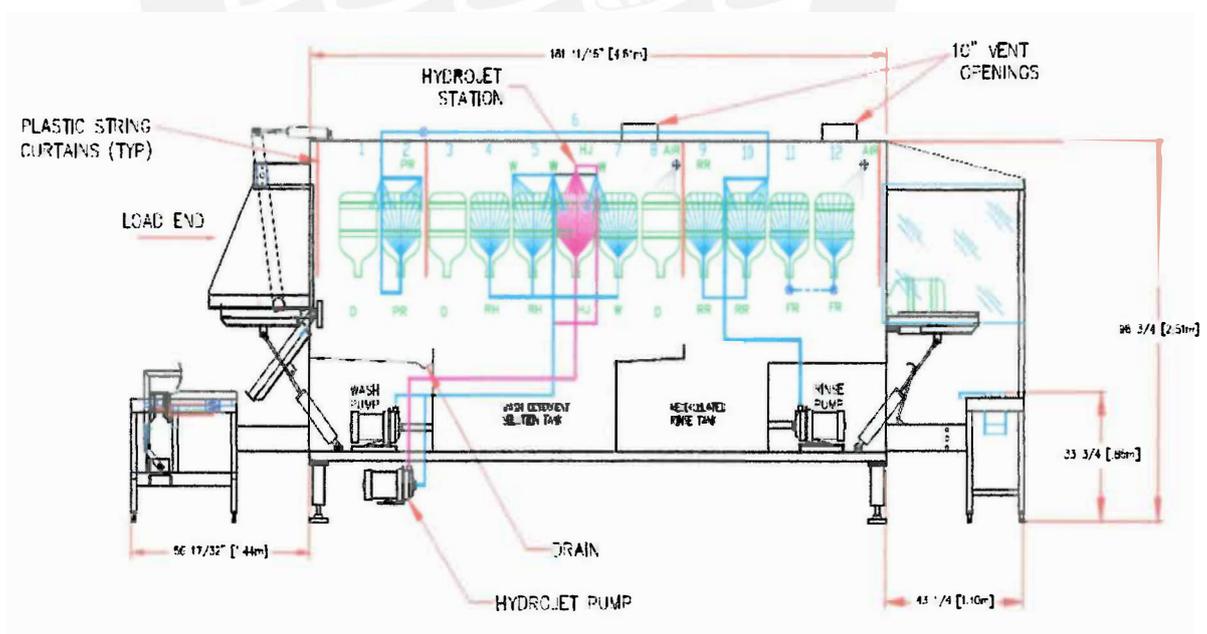


Figura 1.7. Esquema de lavadora con 12 estaciones de lavado. (4)

La tercera máquina es una lavadora H&K de botellas de vidrio con sistema de lavado por inmersión e inyección. La máquina puede lavar botellas de entre 0.25 a 1.1 litros y tiene una

capacidad de entre 3200 a 54000 BPH dependiendo del tamaño de la botella. Esta máquina estará encargada también de la remoción de etiquetas y realizar el brillo de las botellas mediante aditivos (3).

Esta lavadora de gran capacidad cuenta con siete tanques los cuales almacenan agua fresca o soluciones agua-soda cáustica a diferentes temperaturas y concentraciones de soda. En ninguno de los casos la temperatura supera los 82°C y la concentración de soda se mantiene en un rango de entre 1 y 3%.

La máquina mencionada sigue, además, los siguientes puntos:

- Uso de Solución Cáustica (Alcalina) como agente limpiador.
- Uso de aditivos (Polifosfato de Sodio, Chelate, etc.) para ayudar al lavado.
- Prolongado tiempo de remojo.
- Sistema de calefacción de la solución alcalina.
- Inyección y rociado de la solución alcalina a presión.
- Uso de aditivo abrillantador y recubridor (TegoGlass) de la superficie exterior de la botella para evitar el scuffín o desgaste.
- Sistema de duchas de enjuague a presión para lavado interior y exterior.

La disposición de los procesos de la máquina se puede ver en la Figura 1.8:

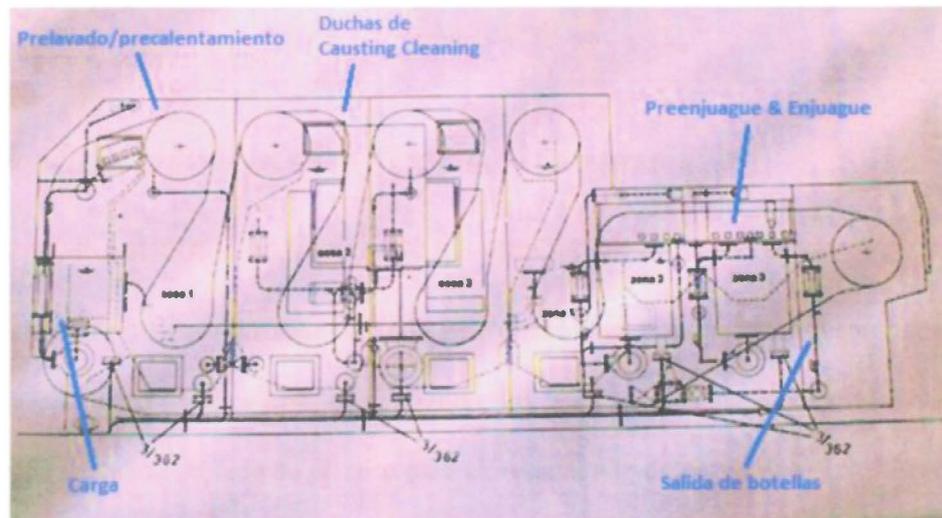


Figura 1.8. Esquema de disposición de la máquina lavadora (3)

El lavado por inyección se hace para las superficies externas de la botella por medio de un rociado de solución de limpieza como se puede apreciar en la Figura 1.9.

La solución es bombeada del tanque de inmersión y cae sobre el lado abierto de los canastos (por el fondo de la botella) por medio de toberas perforadas a lo largo de una tubería rectangular que recorre el ancho de la lavadora. Esta solución luego cae al tanque de inmersión, generando un ciclo de recirculación cerrado.

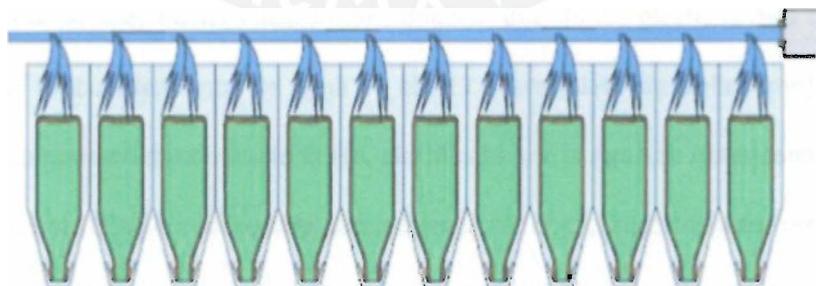


Figura 1.9. Lavado exterior por inyección (3)

Las hileras de canastos utilizadas para transportar las botellas están empernadas a dos cadenas de eslabones que corren por los costados de la lavadora. Estas cadenas son impulsadas por un

motor principal y varios secundarios que se encuentran sincronizados por medios mecánicos y electrónicos. La transmisión del movimiento desde los reductores auxiliares a los ejes de mando se efectúa mediante cadenas.

1.2 BOTELLAS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

1.2.1 PLÁSTICOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE BOTELLAS

Muchos tipos de plásticos utilizados actualmente en la industria alimentaria desprenden toxinas en los alimentos o líquidos que los contienen. Por esto es muchas veces preferible utilizar envases de cristal con la tapa de plástico para almacenar alimentos, ya que el plástico contiene elementos como el bisfenol A (BPA), bifenilospoliclorados, polibromodifenil éteres (PBDE), ftalatos, colorantes y otras peligrosas toxinas. El PBDE puede producir infertilidad y el BPA hace estrago en el sistema endocrino al tener el mismo comportamiento que los estrógenos (4).

Existen, sin embargo, algunos plásticos seguros para el almacenamiento de alimentos, agua y otros líquidos orientados al consumo humano como el polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE por sus siglas en inglés), el polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE por sus siglas en inglés) y el polipropileno (PP).

A pesar de los factores nocivos antes mencionados, uno de los plásticos más utilizados en la industria del embotellamiento de agua es el PET (Tereftalato de polietileno). Este plástico desprende compuesto denominado DEHA, clasificado por la Agencia Americana de Protección Medioambiental (EPA) como posible carcinógeno, así como acetaldehído, otro carcinógeno según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, además de los millones de botellas de agua envasada que se consumen al día en el mundo suponen una carga medioambiental muy elevada.

1.2.2 BOTELLAS RETORNABLES O DESECHABLES

Un estudio realizado por el instituto alemán de investigación IFEU para el Deutscher Brunnen Genossenschaft (BGF) - una organización de compras y servicios que agrupa a más de 160 empresas productoras de agua mineral natural - concluyó: "El sistema de envasado ecológicamente más favorable es el envase reutilizable de 1 litro de PET. De todos los sistemas de envasado estudiados, es el que tiene un perfil con un impacto ambiental más ventajoso."

IFEU y el BGF no son los únicos en llegar a la conclusión de que " los reutilizables son más respetuosos del medio ambiente que los desechables".

Un estudio realizado por Institute for Local Self Reliance de EE.UU. revisó una serie de investigaciones académicas sobre los impactos ambientales de las botellas retornables y desechables. A través de una serie de indicadores de impacto ambiental se encontró con que los estudios favorecen las botellas retornables.

1.3 LAVADO DE BOTELLONES

1.3.1 MÉTODOS DE LAVADO

Para poder aplicar un método de lavado apropiado en cada caso se debe tomar en consideración el tipo de suciedad que debe ser removido (no es lo mismo lavar botellas con residuos de yogurt, agua o mercurio) y cuál es el material de la botella a ser lavada ya que de esto depende la selección del agente limpiador a utilizar. En la industria alimentaria generalmente se utiliza el lavado con agua blanda y soluciones limpiadoras, de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Pre-enjuague con agua tibia.
2. Aplicación de un agente limpiador a temperatura adecuada para su efecto óptimo.
3. Enjuague con agua caliente.

4. Higienización.

Los procesos utilizados para la remoción de las partículas sólidas y aquellas que se adhieren a la superficie de los envases son:

- **Acción humectante:** En este proceso el agua del limpiador hace contacto con todas las superficies sucias del equipo, por lo cual el agente limpiador provoca una reducción de la tensión superficial. Es necesario que la solución penetre en las hendiduras, agujeros pequeños y material poroso.
- **Dispersión:** Las partículas de suciedad son rotas en fracciones individuales pequeñas y son fácilmente removidas del equipo y suspendidas.
- **Suspensión:** Las partículas insolubles de suciedad son retenidas en la solución. Esta acción se debe a la formación de fuerzas más poderosas entre el material ensuciante y la solución detergente, que entre dicho material y la superficie a limpiarse. Las partículas suspendidas se remueven fácilmente del equipo.
- **Peptinación:** Se forma una solución coloidal de la materia que ensucia.
- **Disolución:** Las materias ensuciantes insolubles reaccionan químicamente con los agentes limpiadores, lográndose productos solubles.
- **Enjuague:** Las partículas de suciedad se remueven fácilmente por arrastre en forma de suspensiones o disolución de ellas.

Estos procesos pueden ser ejecutados aisladamente o en conjunto, según se requiera y según sea el grado de limpieza al que se desea llegar.

Para el lavado automático de grandes volúmenes se utilizan principalmente dos métodos:

- **Lavado por sumersión:** Consiste en sumergir las botellas a lavar por una determinada cantidad de tiempo en contenedores que varían según la fase del lavado en la que estas se encuentran. Estos contenedores pueden ser verticales u horizontales; pueden contener agua fresca, agua recuperada o una solución de agua-agente limpiador y puede contener estos líquidos a diferentes temperaturas (según se requiera). Estas diferentes soluciones se esquematizan en la Figura 1.10 por los diferentes colores y la línea azul representa el camino por donde se harán circular las botellas.

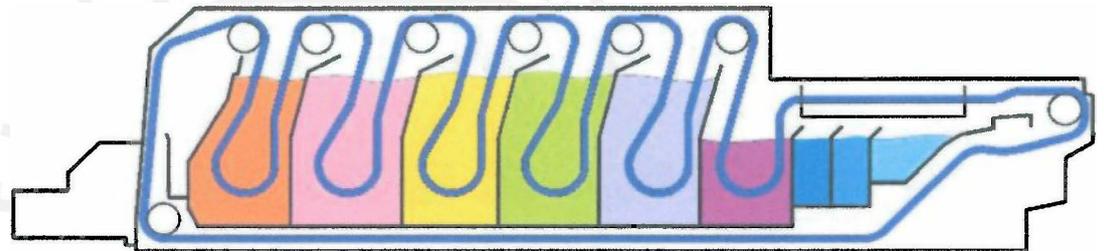


Figura 1.10. Esquema de lavado por sumersión (12)

- **Lavado a presión:** Este lavado consiste en una pequeña tobera que dispara un chorro a presión del líquido que se requiera para la fase de lavado en que se encuentre. Estas toberas pueden tener incluso un movimiento alternativo como los mostrados en las Figuras 1.11 y 1.12, lo cual ayudará a una mejor dispersión del chorro dentro de la botella y habrá un mejor rendimiento en la cantidad de agua utilizada (5).

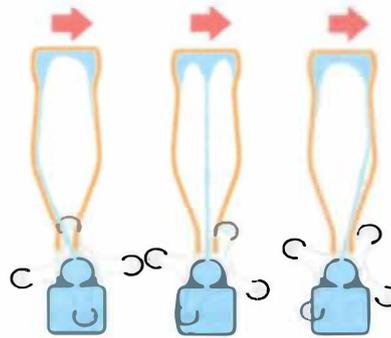


Figura 1.11. Sistema de toberas con sistema para direccionar el chorro (12)

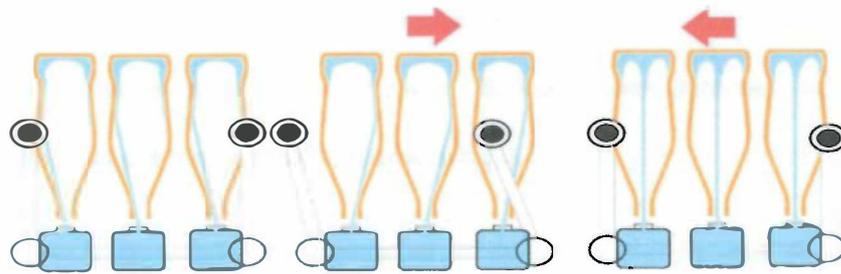


Figura 1.12. Toberas con movimiento alternativo para mejor aprovechamiento del flujo. (12)

1.3.2 AGENTES LIMPIADORES

Los detergentes deben tener capacidad humectante y poder para eliminar la suciedad de las superficies, así como mantener los residuos en suspensión. Asimismo, deben tener buenas propiedades de enjuague de modo que se eliminen fácilmente del equipo los residuos de suciedad y detergente. Un factor nocivo para esto último es la generación de espuma que tienen muchos de los agentes limpiadores, por lo cual se tiene que añadir un aditivo para poder controlar su generación y minimizar los efectos perjudiciales.

Debe asegurarse de que el detergente se utilice en cualquier circunstancia sea adecuado para eliminar el tipo de suciedad resultante de una determinada elaboración de productos, y que se apliquen en la concentración y temperaturas correctas. El detergente que se use debe ser del

tipo no corrosivo, y compatible con otros materiales, incluidos los desinfectantes empleados en los programas de sanidad.

Aún cuando en algunos casos las soluciones frías de detergentes pueden ser eficaces, para eliminar la grasa animal, se necesitará la aplicación de calor. La sedimentación de sales minerales en el equipo puede causar la formación de una escama dura ("costra"), especialmente en presencia de grasa o proteínas. En consecuencia, probablemente se requiera un ácido o detergente alcalino, o ambos, para eliminar tales depósitos. La "costra" puede ser una de las principales fuentes de contaminación bacteriana del producto. Y puede ser reconocida fácilmente por su fluorescencia al aplicar rayos ultravioleta que detectan depósitos que normalmente escapan a la inspección visual ordinaria (5).

El objeto de aplicar la solución detergente es el de desprender la capa de suciedad y microorganismos y mantenerlos en suspensión. Y el objeto del enjuague es el de eliminar la suciedad desprendida y los residuos de detergentes.

También se debe tomar en cuenta que los detergentes pueden afectar el sabor, aroma y la posibilidad de que quedan residuos de estos en la botella debido a un enjuague deficiente, por lo que debe evaluarse el grado de toxicidad del producto. Para el cuidado del medio ambiente, a su vez, se podrían considerar el uso de detergentes biodegradables, previo análisis según el concepto de costo-beneficio.

Las propiedades generales de un agente limpiador, son:

- Completa y rápida solubilidad.
- Brindar completo ablandamiento del agua, o tener capacidad para acondicionar la misma.
- Excelente acción humectante.

- Excelente acción emulsionante de la grasa.
- Excelente acción solvente de los sólidos que se desean limpiar.
- Excelente dispersión o suspensión.
- Excelentes propiedades de enjuague.
- Acción germicida.
- Bajo precio.
- No tóxico.

Algunos agentes limpiadores usados en la industria son:

- Sosa cáustica (NaOH) es el alcalino más fuerte que se emplea en la formación de detergentes. Tiene varios problemas: Corroe los metales, especialmente aluminio y zinc, y a temperaturas elevadas ataca incluso al vidrio, que al cabo de lavados sucesivos va perdiendo transparencia. Es muy corrosivo para la piel-humana, por lo que se hace necesario usarlo con rigurosas precauciones de seguridad. No sirve para la formulación de detergentes en polvo. Pero a pesar de todos sus inconvenientes, es muy útil en formulaciones en que se requiera un limpiador fuerte; actúa saponificando las grasas y peptizando las proteínas. Además es un excelente germicida destruyendo parcialmente a la carga microbiana, cumpliendo así alguna acción desinfectante.
- Carbonato sódico (Na_2CO_3). Es un producto fuertemente alcalino, que al disociarse libera sosa cáustica por hidrólisis (reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente): Por su carácter alcalino presenta las propiedades antes señaladas de emulsionar las grasas y péptica las proteínas. Tiene prácticamente

todas las desventajas de la sosa cáustica, excepto que éste se presta para la fabricación de detergentes en polvo.

- Silicatos de sodio (Meta y ortosilicatos). Como productos alcalinos, su efecto es actuar contra las grasas y proteínas, pero su presencia en las formulaciones obedece más a que actúa como inhibidor de la corrosión del vidrio y de los metales, que provocan los álcalis fuertes.
- Fosfato trisódico. Producto alcalino relativamente débil, disminuye el efecto corrosivo de la sosa cáustica sobre el brillo del vidrio. Su presencia es constante en formulaciones utilizadas para el lavado de botellas de vidrio. Ambos productos, silicatos y fosfato trisódico, proporcionan con su ligero poder detergente, un cierto sinergismo con los detergentes propiamente dichos.
- Fosfatos polímeros o polifosfatos. Son productos empleados en los detergentes para impedir la precipitación de las sales de agua (Dureza). Actúan como secuestrantes, tanto del calcio como del magnesio, manteniéndolos en solución, de modo que sustancias como la sosa cáustica o el carbonato sódico, que los harían precipitar, no provoquen este comportamiento. Los más usados son. El tripolifosfato, tetrafosfato, hexametafosfato y pirofosfato sódico.

De acuerdo al comportamiento de la sustancia empleada, se deben usar aditivos antiespumantes para facilitar el enjuague de las botellas.

1.3.3 PRECAUCIONES EN EL LAVADO

Para impedir la contaminación de los productos, todo el equipo y utensilios se deberán limpiar con la frecuencia necesaria y se desinfectarán siempre que las circunstancias así lo exijan.

El ambiente seleccionado para albergar la línea de producción de embotellamiento debe estar limpio en todo momento y contar con un ambiente climatizado que reduce la cantidad de polvo

en el ambiente, insectos y bacterias en las áreas donde las botellas son lavadas, llenadas y tapadas.

Aunque existen también algunas líneas de llenado de alta performance que cuentan con un ambiente aislado dentro de la misma máquina que aísla el proceso de lavado, llenado y tapado impidiendo que el polvo o las bacterias contaminen los productos.

En todo caso se tomarán las precauciones necesarias para impedir que el producto se contamine, cuando las áreas, el equipo y los utensilios se limpien o desinfecten con agua, detergentes y otros tensoactivos, o soluciones de éstos.

Los detergentes y desinfectantes serán seleccionados cuidadosamente para lograr el fin perseguido, y deben ser aceptados por el organismo oficial competente. Los residuos de éstos agentes que queden en una superficie susceptible de entrar en contacto con los productos, deben eliminarse mediante un enjuague minucioso con agua. Además esta agua contaminada debe ser tratada antes de poder desecharla, ya sea reutilizada como limpiador de otras áreas de la planta o filtrando el agua con métodos como la ósmosis inversa.

No deben almacenarse juntos los productos alcalinos con los ácidos. Los productos ácidos no deberán mezclarse con soluciones de hipoclorito, ya que se producirá gas de cloro. Las personas que trabajen con productos alcalinos o ácidos, deberán usar ropas y gafas protectoras, y ser instruidas cuidadosamente en las técnicas de manipulación. Los envases en los que se guardan tales líquidos deberán rotularse claramente y almacenarse en lugar separado al de los productos y los materiales de envase. Se deberán cumplir estrictamente las instrucciones de los fabricantes para su correcto uso.

Se debe tener especial cuidado en el uso de materiales abrasivos, para que éstos no modifiquen el carácter de la superficie de contacto del producto, y que los fragmentos de cepillos,

raspadores y otros materiales de limpieza, en caso sean utilizados, no contaminen el producto (5).

1.4 ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

1.4.1 TECNOLOGÍA USADA PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE RECURSOS

Los depósitos petrificados son el producto resultante de la reacción de ciertos constituyentes de los compuestos comerciales usados para el lavado con las sales de calcio presentes en el agua dura.

En el laboratorio, la acción del fosfato trisódico, hidróxido de sodio, carbonato de sodio y bicarbonato de sodio, en presencia del sulfato de calcio en medio acuoso, dejan un depósito calcáreo en las superficies de los tubos de ensaye similar a la costra de leche. Este depósito es muy difícil de remover mediante el frote del cepillo, pero se elimina fácilmente con ácido clorhídrico diluido.

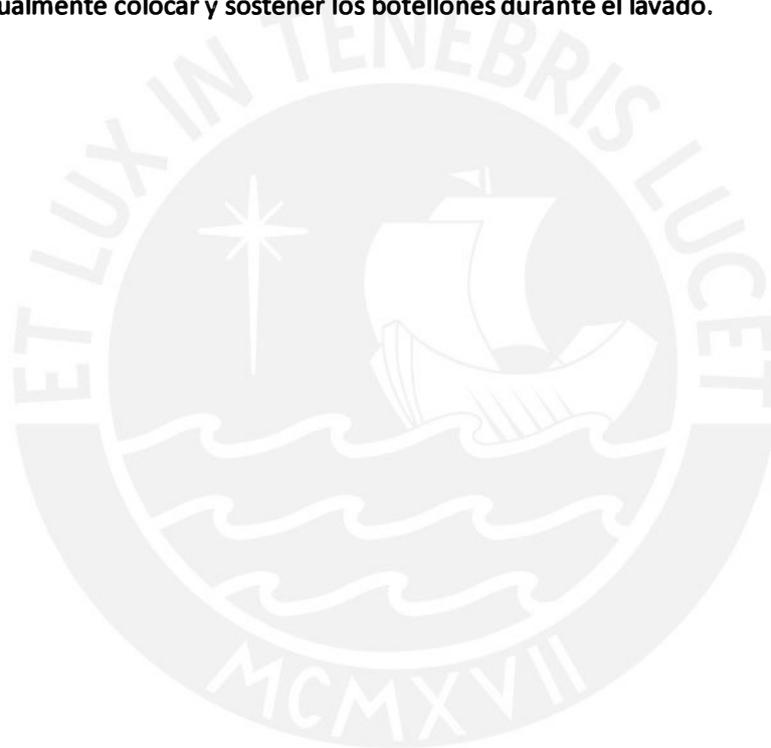
La descalcificación de las máquinas lavadoras de botellas de agua es la principal razón del alto consumo de agua en los procesos de lavado actuales, así como el derroche de legía sin usar ya que el agua se la lleva consigo. Por lo tanto la instalación de una pequeña planta para ablandar (descalcificar) el agua proveniente de la red (Sedapal en el caso de contar con sus servicios o un pozo de agua subterráneo en el caso de encontrarnos en un lugar más rural) antes de alimentar a nuestra máquina lavadora, podría ahorrarnos hasta un 40% en el consumo de agua, por lo que la inversión de la planta se pagaría en unos pocos meses.

1.4.2 TRATAMIENTO DEL AGUA SUCIA CONTAMINADA CON DETERGENTE

Actualmente existen en el Perú empresas dedicadas al tratamiento y envasado de agua que requieren expandirse en el mercado y aumentar su producción. Uno de los principales

inconvenientes que afrontan es el hecho de que la productividad no se puede aumentar debido a que el tiempo en el proceso de lavado de los bidones es, por lo general, mayor que el tiempo de envasado. Por lo tanto se necesita una maquina más rápida o con mayor capacidad de lavado en este proceso.

Otro problema de algunas de las máquinas usadas actualmente en esta industria es que tienen un gasto excesivo de agua y la poca automatización hace que sean necesarios varios operarios para manualmente colocar y sostener los botellones durante el lavado.



CAPÍTULO II: DISEÑO PRELIMINAR

En este capítulo, el objetivo será encontrar un concepto de solución de una máquina lavadora de botellones que cumpla con los objetivos antes detallados de la forma más eficiente posible siguiendo la metodología de diseño propuesta por la VDI (Verein Deutscher Ingenieure).

2.1 METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Como se mencionó anteriormente, se utilizará la metodología de diseño VDI 2222 hoja 1, creada por la asociación de Ingenieros Alemanes VDI, la cual sugiere seguir los siguientes pasos principales:

- **Planeamiento:**

En esta etapa se definen los requerimientos y los alcances del producto a diseñar con la ayuda del estado de la tecnología mostrado en el capítulo anterior. Con la información recabada se podrá entonces realizar una lista de exigencias.

- **Concepción:**

En esta etapa se creará una estructura de funciones que detalle lo que la máquina será capaz de realizar. Una vez definido esto se formularán diferentes soluciones para cada una de estas funciones y, con la ayuda de una matriz morfológica y analizando de distintas maneras las diferentes soluciones, se llegará a un concepto de solución óptimo.

- **Proyecto:**

Partiendo ya de la solución óptima encontrada en la fase anterior, se terminará de definir el proyecto dándole medidas tentativas, seleccionando materiales óptimos y pensando ya en los procesos de fabricación que se utilizará.

- **Desarrollo:**

En esta última etapa se realizarán los cálculos que ayudarán a definir todas las medidas, así como tolerancias, acabado superficial y materiales. Se elaborarán además todos los documentos requeridos para la fabricación como son los planos y cualquier información extra que se requiera.

2.2 LISTA DE EXIGENCIAS, ESTRUCTURA DE FUNCIONES Y MATRIZ MORFOLÓGICA

Para la formulación del diseño preliminar se empezó realizando la lista de exigencias de donde se extraen los siguientes puntos principales:

- Lavar botellones de agua de 20 litros de capacidad de una manera rápida y eficiente, cumpliendo con el ratio de producción de 250 botellones por hora.
- Garantizar que no queden residuos como detergentes dentro de los botellones ya que estos serán utilizados en la industria alimentaria.
- Los materiales seleccionados para la construcción de la lavadora deben poder soportar el ambiente agresivo en donde se desempeñarán, así como ser inocuos para los botellones.
- Los costos de operación y fabricación de la máquina deben ser reducidos para que sea de fácil implementación en el sector de pequeñas empresas o medianas empresas.

Con estos parámetros se realizó la caja negra presentada en la Figura 2.1:



Figura 2.1. Caja negra (elaboración propia)

- **CAJA NEGRA:** Máquina lavadora de botellones de agua
- **ENTRADA:**
 - Señal: Inicia el funcionamiento de la máquina.
 - Material: Botellón sucio y agua de lavado.
 - Energía: Energía humana, eléctrica y/o mecánica.
- **SALIDA:**
 - Señal: Señal de finalización del proceso.
 - Material: Botellón limpio y agua sucia.
 - Energía: Ruido, calor, fricción y vibraciones.

Se formularon además tres variantes de estructuras de funciones, en donde la principal variación representa la necesidad o no de calentar el agua antes de los procesos de lavado o pre-lavado, lo cual ayudará luego en la conceptualización de las diferentes tentativas de solución. Como se verá posteriormente, la determinación de este precalentamiento está dado básicamente por la elección del detergente a usar. En la Figura 2.2 se muestra la estructura de funciones que finalmente se utilizó para el diseño.

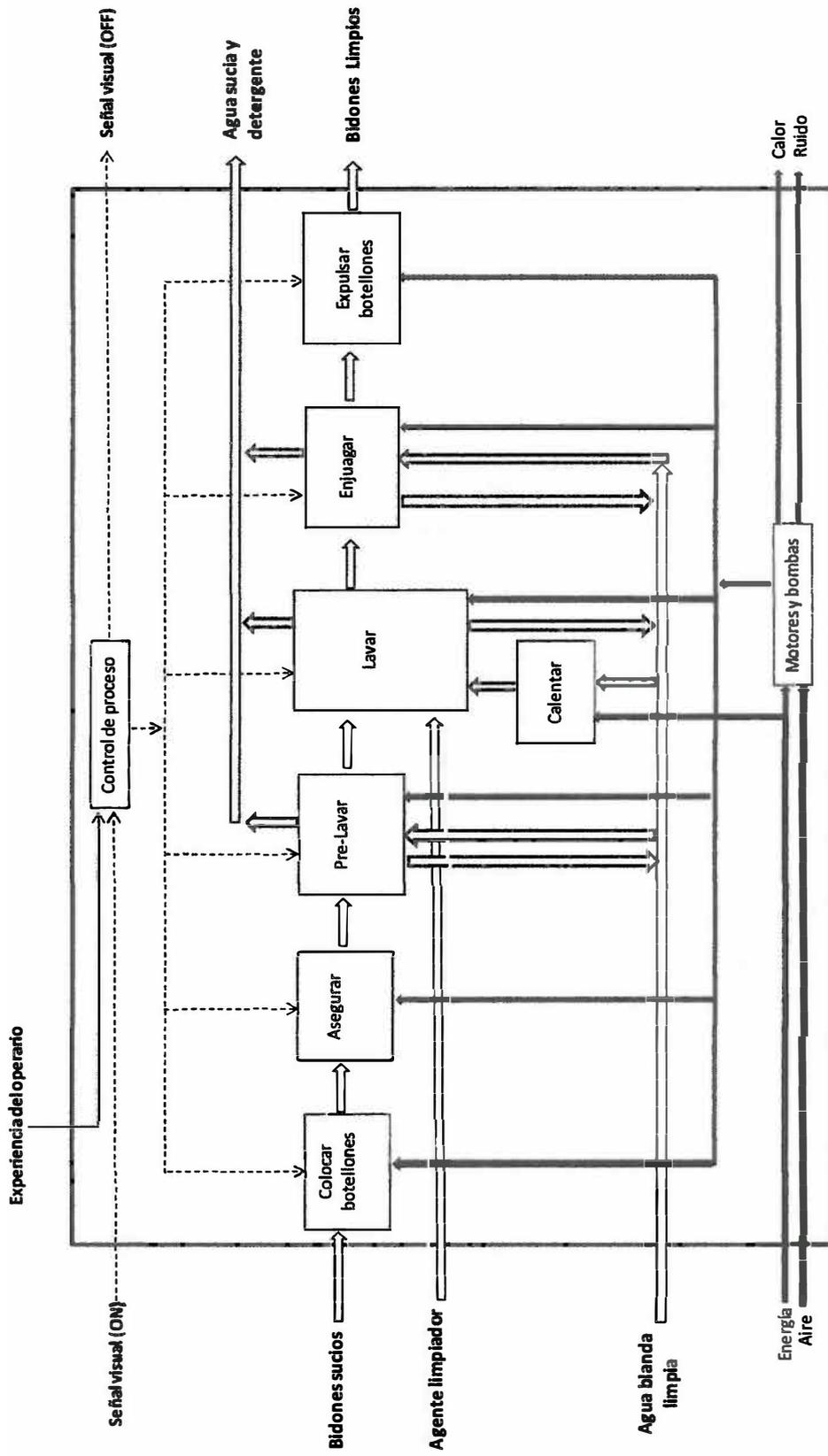
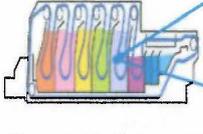
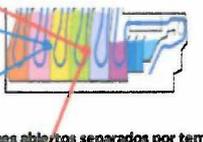
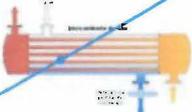
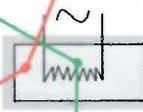
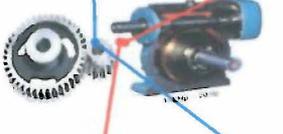
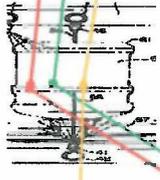


Figura 2.2. Estructura de funciones (elaboración propia)

Posteriormente, se desarrolló la matriz morfológica (Figura 2.3) contemplando las distintas operaciones que esta deberá realizar descritos en la estructura de funciones.

Función parcial	Portadores de funciones		
	1	2	3
Alimentar Agua	 Manual	 Bomba	
Almacenar agua	 Tanques separados por temperaturas y concentraciones agua-agente limpiador	 Tanque	
Almacenar solución	 Tanque cerrado	 Tanque abierto y cerrado	 Tanques abiertos separados por temperaturas y concentraciones agua-agente limpiador
Calentar solución	No se calienta	 Intercambiador de calor	 Resistencias eléctricas
Energizar el motor	 Gasolina	 Electricidad de la red	 GAS
Reducir la velocidad del motor	 Engranaje-Piñón → Reductor sin fin - corona	 Reductor por flejes	 Reductor sin fin- corona
Cargar la lavadora	 Manual	 Mecanismo rotatorio de carga	
Asegurar el botellón	 Topes	 Chorro contrario	

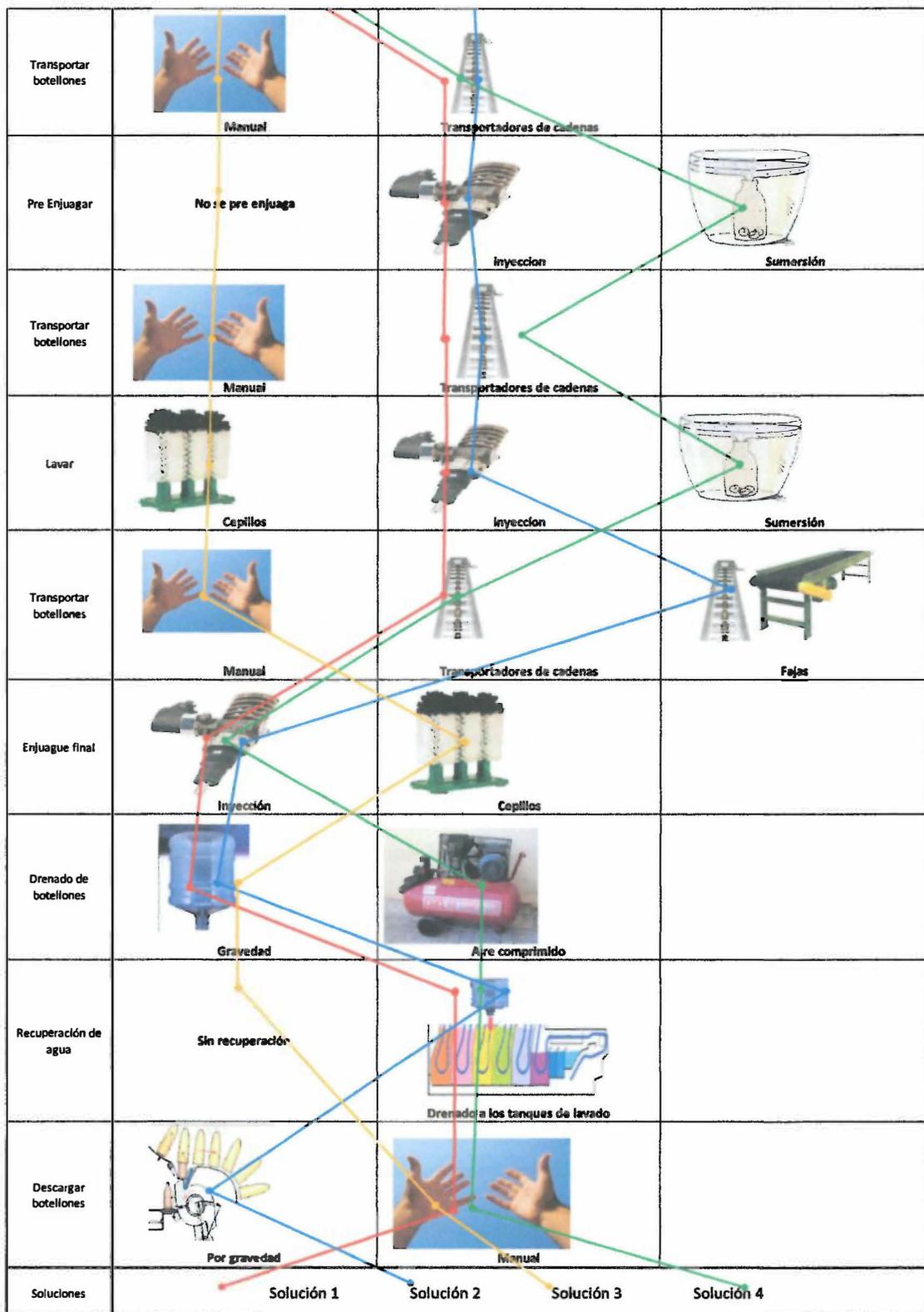


Figura 2.3. Matriz morfológica (elaboración propia)

2.3 CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

2.3.1 CONCEPTO DE SOLUCIÓN 1

Esta máquina, esquematizada en la Figura 2.3, se compondrá de cinco tanques para el almacenamiento y recuperación de agua, los cuales tendrán diferentes concentraciones de solución agua-detergente. Uno de los tanques será externo y su función será la de suplir a los tanques con la solución agua-detergente en la proporción adecuada. Los tanques serán abiertos por la parte superior y se encargarán de recuperar el agua utilizada en el proceso de lavado para poder recircularla, con el ahorro de agua que esto significa. La solución utilizada en estos tanques será calentada con resistencias eléctricas si el detergente a usar lo requiere, ya que algunas soluciones como la sosa cáustica necesitan de una temperatura determinada para su adecuada operación. Esto no será un requisito debido a que se toma como parámetro que los botellones a lavar han sido utilizados únicamente para el almacenamiento de agua, por lo tanto no es necesaria una limpieza tan exhaustiva. La tarea de desechar los botellones que no cumplan con esta restricción será de los operarios encargados de alimentar la máquina (ya que este proceso será manual) y se hará por simple inspección. Cada tanque, a su vez, contará con una pequeña bomba que impulsará el agua hacia cada una de las toberas en las cuatro etapas de lavado dispuestas.

Existirá un motorreductor encargado de energizar el sistema de porta bidones, el cual será prendido y apagado por un PLC según los requerimientos de tiempos de lavado. Por otro lado, se contará con un techo de altura regulable el cual permitirá trabajar con diferentes dimensiones de botellones y que estos no se salgan debido a la presión del chorro.

Por último, la descarga de botellones será por gravedad, lo cual depositará los botellones limpios en una faja transportadora al siguiente módulo (llenado por ejemplo).

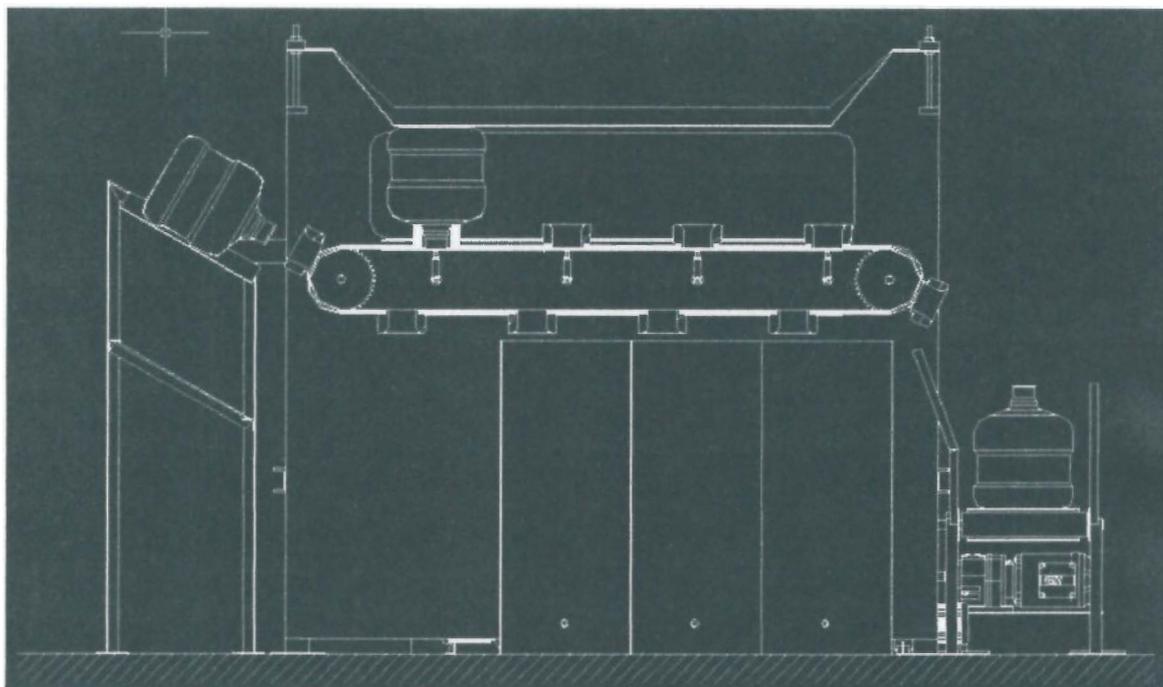


Figura 2.3. Concepto de solución 1

2.3.2 CONCEPTO DE SOLUCIÓN 2

Esta máquina, esquematizada en la Figura 2.4, vendría a ser una opción un poco más avanzada sobre el primer concepto de solución, con las diferencias en cuanto a mayor automatización y una limpieza más exhaustiva.

Uno de los cambios se da en la fase de carga, en la cual los botellones serán introducidos a la máquina mediante un mecanismo rotatorio el cual estará sincronizado con el avance de la cadena. Otro es que, en este caso, se contará con cuatro tanques, dos para el proceso de lavado (los cual serán calentados), uno para el producto final y uno ultimo para el enjuague inicial. Este último alimentará además a las toberas ubicadas sobre los botellones con lo cual habrá un lavado exterior y proporcionará una fuerza externa que garantizará que los botellones no se desprendan de su sitio. El último cambio corresponderá a la zona de

descarga, en donde habrá un sistema neumático que colocará el botellón limpio en una faja transportadora para su posterior llenado.

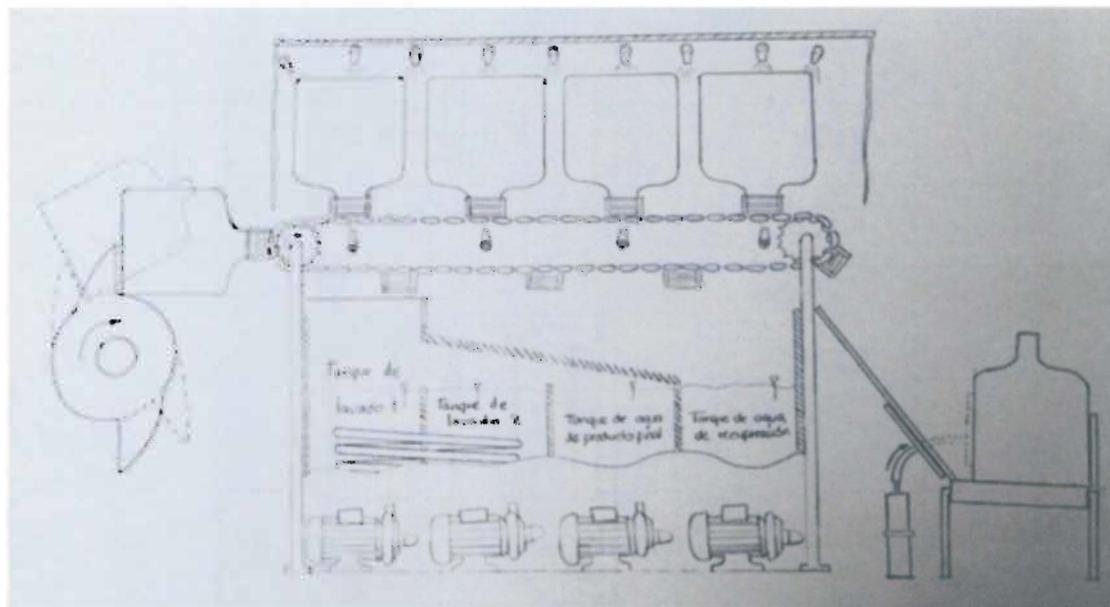


Figura 2.4. Concepto de solución 2

2.3.3 CONCEPTO DE SOLUCIÓN 3

Esta máquina, la más compacta de las cuatro y esquematizada en la Figura 2.5, tiene la ventaja de su muy buen desempeño en el lavado y reducido tamaño, pero la desventaja de su poca automatización y su baja capacidad, con lo cual podría no llegar a cumplir con la exigencia de 250 botellones por hora. El hecho de que la carga, descarga y el cambio de atapa de lavado se haga por un operario incidirá en esto último.

Esta máquina cuenta con un tanque de agua de lavado y un tanque de agua de producto final (el agua con la que posteriormente se llenará el botellón) los cuales tendrán cada uno su bomba que impulsará la solución dentro de los botellones mediante unos rociadores alargados similares a los cepillos limpia botellas. Estos contarán con cerdas que ayudarán en la remoción de suciedad de los botellones.

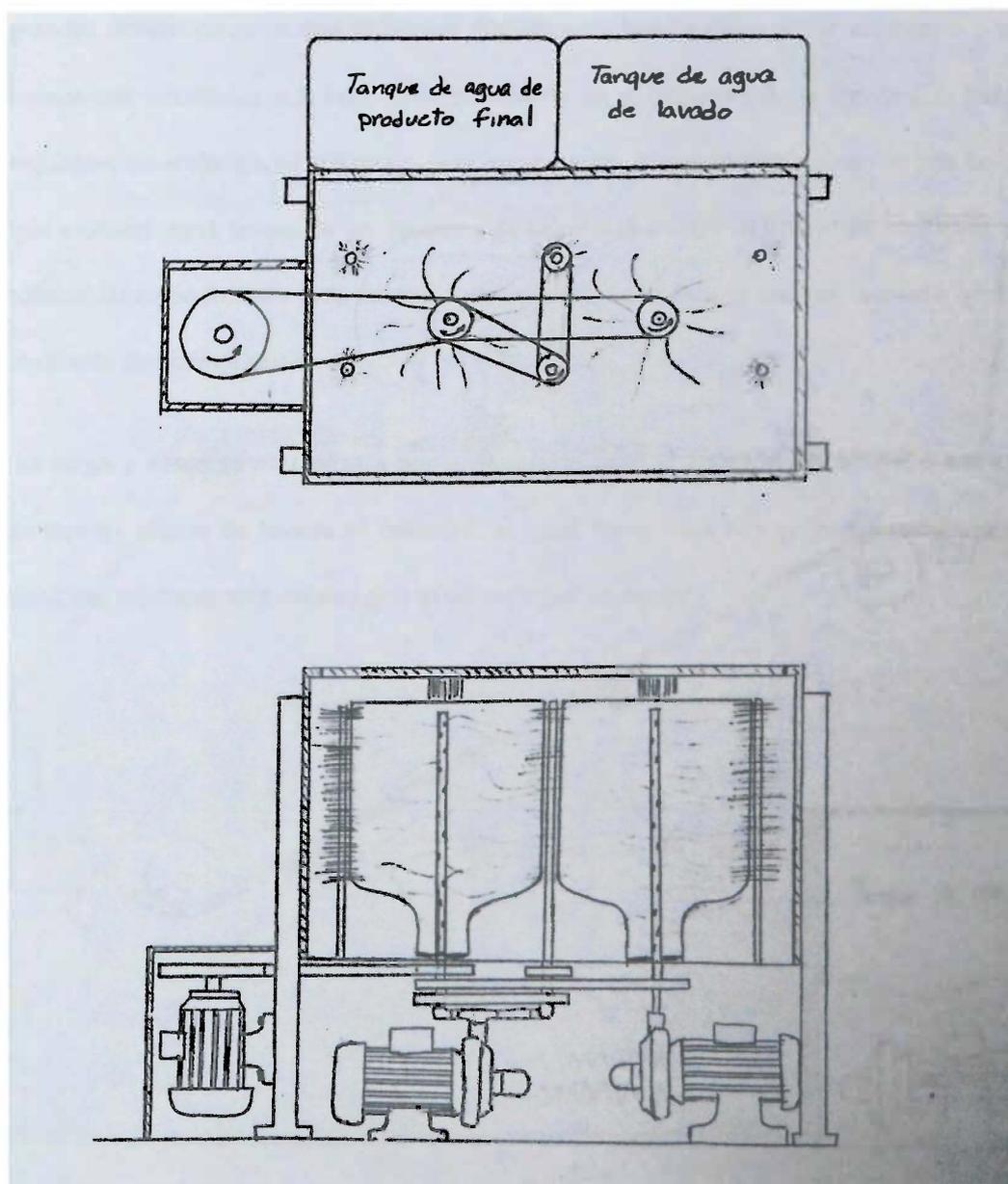


Figura 2.5. Concepto de solución 3

2.3.4 CONCEPTO DE SOLUCIÓN 4

Esta última máquina, a diferencia de las tres mostradas anteriormente, limpiará por el principio de sumersión. Por este motivo, esta máquina tendrá la desventaja de poseer

grandes dimensiones, ya que el tanque con agua de lavado debe poder albergar a por lo menos dos botellones a la vez, como se aprecia en el esquema de la Figura 2.6. Para el enjuague, sin embargo, se utilizará el principio anterior, que contempla el uso de una bomba que extraerá agua limpia de un tanque y la impulsará dentro del botellón mediante una tobera. Después de esta fase de enjuague, existirá además una fase de drenado asistido mediante aire comprimido.

La carga y descarga se realizará por un operario pero el traslado del botellón entre las diferentes etapas de lavado se realizará, al igual que en los dos primeros conceptos de solución, mediante una cadena guía impulsada por un motor.

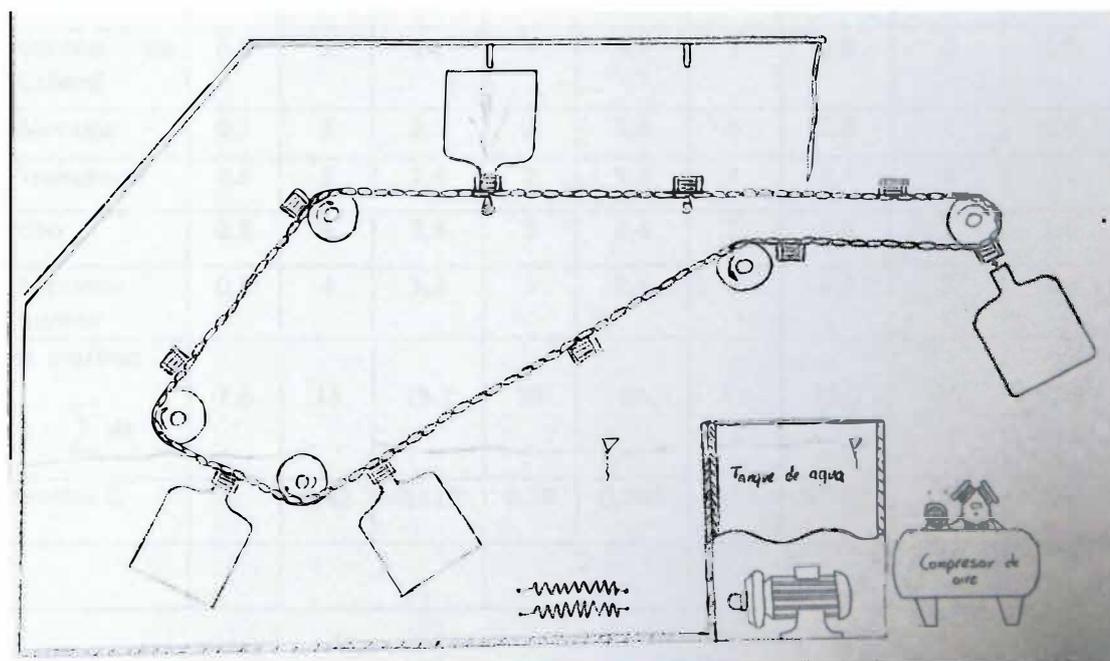


Figura 2.6. Concepto de solución 4

2.4 DETERMINACIÓN DEL CONCEPTO ÓPTIMO

Para determinar el concepto óptimo se compararon las opciones utilizando el método de evaluación de proyectos por valor económico (Tabla 2.1) y técnico (Tabla 2.2).

Tabla 2.1 Tabla de valor técnico

DISEÑO MECÁNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS										
Valor Técnico (X_i)										
<p>p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy Bien (Ideal) g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.</p>										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos.										
Variantes de Concepto/ Proyecto			Solución1 S1		Solución2 S2		Solución3 S3		Solución4 S4	
#	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	0,9	3	2,7	4	3,6	2	1,8	3	2,7
2	Forma	0,7	3	2,1	2	1,4	4	2,8	2	1,4
3	Diseño	0,8	4	3,2	3	2,4	4	3,2	2	1,6
4	Seguridad	0,8	4	3,2	4	3,2	4	3,2	2	1,6
5	Ergonomía	0,7	3	2,1	4	2,8	3	2,1	2	1,4
6	Control de Calidad	0,8	3	2,4	4	3,2	1	0,8	2	1,6
7	Montaje	0,7	3	2,1	2	1,4	4	2,8	2	1,4
8	Transporte	0,6	3	1,8	2	1,2	4	2,4	1	0,6
9	Uso	0,8	3	2,4	3	2,4	2	1,6	2	1,6
10	Manteni- miento	0,8	4	3,2	3	2,4	3	2,4	3	2,4
Puntaje máximo $\sum p \text{ o } \sum gp$		7,6	33	25,2	31	24	31	23,1	20	16,3
Valor técnico X_i			0,82	0,829	0,76	0,789	0,46	0,760	0,9	0,715
Orden			1		2		3		4	

Tabla 2.2 Tabla de valor económico

DISEÑO MECÁNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS										
Valor Económico (Y_i)										
<p>p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy Bien (Ideal) g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.</p>										

Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos.										
Variantes de Concepto/ Proyecto			Solución1 S1		Solución2 S2		Solución3 S3		Solución4 S4	
#	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Fabricación	0,9	3	2,7	2	1,8	4	3,6	2	1,8
2	Materiales	0,8	3	2,4	3	2,4	3	2,4	3	2,4
3	Mantenimiento	0,8	3	2,4	3	2,4	3	2,4	3	2,4
4	Transporte	0,6	3	1,8	2	1,2	4	2,4	1	0,6
5	Montaje	0,7	2	1,4	2	1,4	3	2,8	2	2,1
Puntaje máximo $\sum p \text{ o } \sum gp$		3,8	14	10,7	12	9,2	18	13,6	12	9,3
Valor económico Y_i			0,93	0,939	0,8	0,807	0,9	0,895	0,8	0,816
Orden			1		4		2		3	

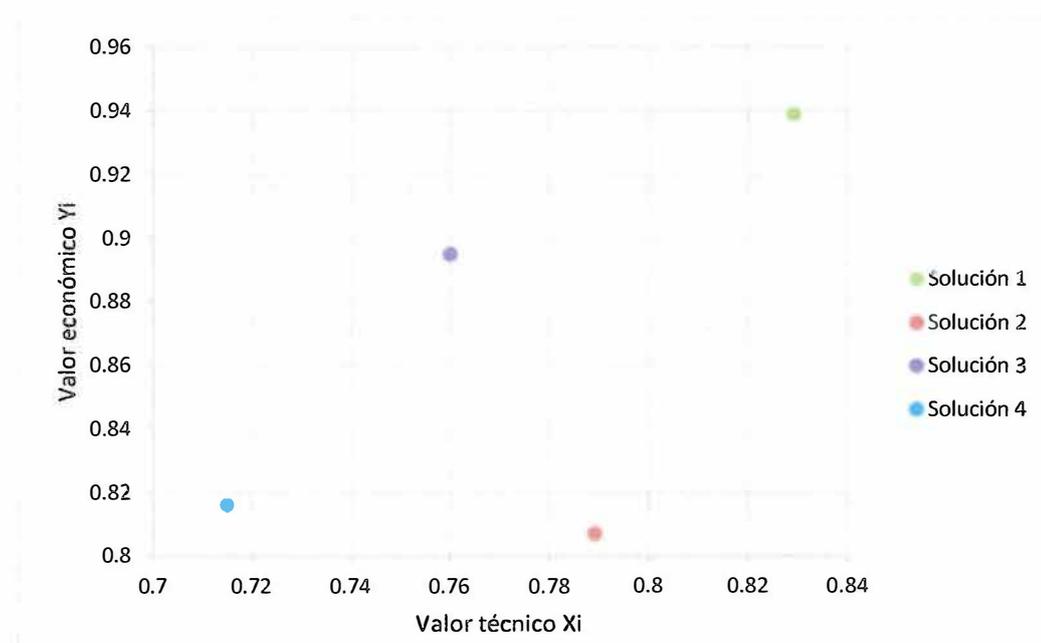


Figura 2.7. Gráfica de resultados

Vistos los resultados de las evaluaciones antes mostradas, se puede apreciar que el concepto de solución 1 sería el elegido, con lo cual se procederá a describir brevemente las etapas con que cuenta la máquina:

- Carga de botellones: Esta etapa será manual como se determinó en el concepto de solución óptimo. Por esto, se deberá tomar en cuenta el tiempo que demorarán los

operarios en realizar dicha operación tomando como parámetro la cantidad de líneas que tendrá la lavadora.

- **Enjuague inicial:** Se realizará con agua pura, la cual drenará a un tanque en la parte inferior y se recirculará con la ayuda de una bomba. El tiempo en el cual se deberá cambiar el agua será calculado posteriormente tanto para el enjuague inicial como para los demás procesos de lavado que utilizarán el mismo sistema de recirculación.
- **Lavado:** Existirán dos etapas de lavado a temperaturas y concentraciones distintas de agua-detergente. Cada etapa tendrá su propio tanque en donde se recuperará la solución utilizada y se hará recircular.
- **Enjuague final:** Se realizará con agua de producto final, esto es, agua con la cual el botellón será posteriormente llenado para prevenir la posibilidad de contaminación en caso se usar agua de la red. Su función será de eliminar cualquier residuo de detergente que pueda quedar en el botellón. El agua también drenará en un tanque separado y se hará recircular.
- **Descarga:** Los botellones caerán a una faja transportadora que los llevará al siguiente módulo.

Las etapas de drenado, que no figuran entre las etapas presentadas, se realizará entre las transiciones de estaciones ya que la boquilla del botellón es lo suficientemente grande y el drenado toma un tiempo tan reducido que ese lapso de tiempo que dura la transición es suficiente para este propósito. Se pueden distinguir entonces seis estaciones (dos de lavado) en donde hay un requerimiento mínimo en tiempo para cada una, salvo para la estación de descarga en la cual el botellón caerá a penas se posicione el porta botellones a un ángulo necesario que le permita caer.



CAPÍTULO III: CÁLCULOS

En el presente capítulo se procederá a calcular todos los parámetros de la máquina para poder terminar de definirla y darle las dimensiones finales, así como seleccionar los materiales y equipos que se utilizarán (bombas, motorreductores, etc).

Para empezar a calcular y seleccionar equipos como bombas, motorreductores o perfiles, se debe determinar las dimensiones generales de la máquina, así como la velocidad a la cual los botellones serán lavados.

3.1 CÁLCULOS PRELIMINARES

Sabiendo que la máquina trabajará intermitentemente, se determinará la cantidad de líneas de lavado y el tiempo en cada estación dependiendo de los botellones que se requieren lavar por hora que, en este caso, será de 250. Además se tomará que el tiempo de recorrido de los botellones entre estación y estación será de 2 segundos o menos.

$$t = \frac{3600 \text{ s}}{250 \text{ bot}} = 14,4\text{s} \quad (3.1)$$

Con lo cual, para una sola línea de producción, se tendrían 12,4 segundos por estación para el lavado y 2 segundos para las transiciones, suficiente para un correcto lavado de las botellas.

Un operario, entonces, será el encargado de cargar de botellones a la máquina y tendría poco más de 12 segundos por botellón para esta tarea, tiempo más que suficiente para que cumpla con colocar el mismo dentro de su porta botellón.

Otra de las partes esenciales en la lavadora es el almacenamiento de agua, para lo cual se utilizarán cuatro tanques destinados cada uno a una etapa del lavado y un tanque exterior para almacenar el agua de recambio. La solución más utilizada y óptima para el lavado de botellones

es la sosa cáustica, que será el agente limpiador a utilizar. Esta, a pesar de ser un excelente agente limpiador, tiene algunos inconvenientes como el de su peligrosidad para los operarios que la manipulen. Se trabajará entonces con un tanque externo adicional, de donde se extraerá la sosa para su dilución en los tanques de recuperación (contenidos dentro de la máquina). Esta operación se realizará con la ayuda de una bomba que conecta los dos tanques centrales de manera simultánea, por lo que ambos tanques tendrán la misma concentración de sosa cáustica, pero se mantendrán separados para evitar que la suciedad del primero entre al segundo.

Debido a que en todas las etapas de lavado y enjuague la presión de agua que sale de las toberas será alta, el techo será de altura regulable y se colocará a pocos milímetros de la base de los botellones para servir como tope, con lo que se evitará que los bidones se salgan del portabotellones. Esto se tomó en consideración debido a que, a pesar de que se trabajará con bidones de 20 litros, estos pueden variar ligeramente en diámetro y altura.

La máquina contará con diez líneas de portabotellones instaladas a lo largo de la cadena, las cuales se encontrarán distanciadas 410 mm para dejar un aire entre botellones de aproximadamente 100 mm (dependiendo del diámetro de botellón a emplear). Esto último permitirá que el chorro de agua expulsado por las toberas lave también la superficie exterior de los botellones ya que las bombas funcionarán de modo continuo. Cuatro de estas líneas estarán transportando los botellones por las diferentes fases de lavado, una estará a un ángulo de 30° con la horizontal recibiendo los botellones que el operario coloque, una estará a 60° (en depresión) depositando los botellones ya lavados en el transportador de rodillos y los restantes estarán en "reposo". Con esta distancia de 410 mm y los 2 segundos que previamente se asumió como tiempo necesario para la transición entre etapas de lavado, se determinó la velocidad de avance de la cadena de la siguiente manera:

$$V_{cadena} = \frac{0,41m}{2s} = 0,21 \frac{m}{s} = 12,6 \frac{m}{min} \quad (3.2)$$

Las tuberías que alimentarán a las toberas pasarán por entre la cadena haciendo que estas se encuentren a pocos milímetros de la boca del botellón. Esta disposición permitirá que toda la solución agua-detergente ingrese y bañe la superficie interior del recipiente por el periodo de tiempo antes determinado. La presión a la cual se bombeará la solución agua-detergente será de 4bar, presión suficiente para garantizar el buen lavado del botellón. La disposición de los elementos mencionados se puede entender mejor en la Figura 3.1 presentado a continuación:

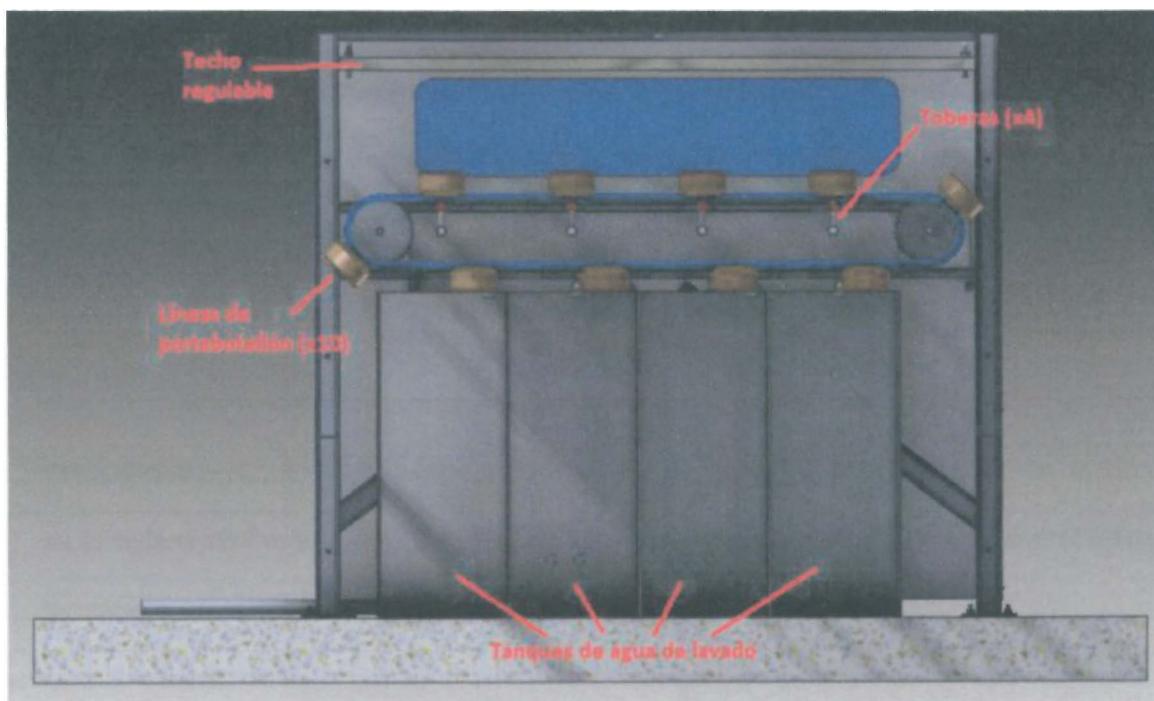


Figura 3.1. Disposición de componentes de la máquina lavadora

Con estos parámetros ya determinados, se procederá entonces con los cálculos de la máquina.

3.2 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE CADENAS Y SISTEMA DE TRANSPORTE

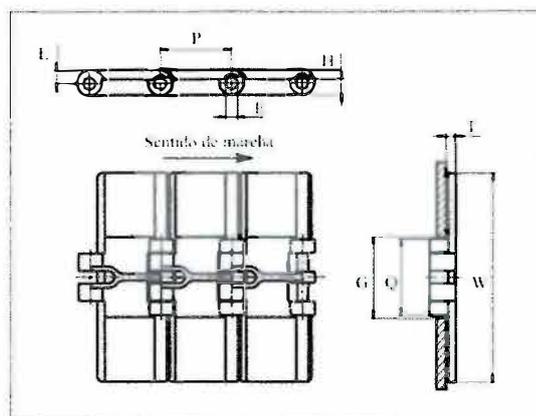
Las cadenas transportadoras a calcular serán utilizadas para transportar la guía de portabotellones, mostrada en la Figura 3.2. Esta será calculada con ayuda del manual "Conveyor chain designer guide" de la empresa Renold (6).



Figura 3.2. Portabotellón

Las cadenas pueden ser de materiales como plástico o acero, pero en caso de escoger el segundo, tendría que ser de acero inoxidable para garantizar la resistencia a la corrosión, lo cual elevaría considerablemente el costo y las buenas propiedades mecánicas de este material serán desperdiciadas ya que el peso a transportar será bajo y por consiguiente el esfuerzo de tracción en la cadena será reducido. Es por esto que se optará por cadenas de plástico, con el único inconveniente de que se tendrá que adaptar una conexión con el portabotellones.

Del catálogo de la empresa Uni Chains (7), la cual se encuentra en el mercado local, se seleccionó el modelo uni 831 por cumplir con las dimensiones y forma necesaria para poder adaptar un conector entre el eslabón y el portabotellones (Figura 3.3). Se determinará entonces si esta cadena soportará los esfuerzos a la que será sometida.



	mm	pul.		mm	pul.
E	6.4	0.25	P	38.1	1.50
G	44.5	1.75	Q	41.5	1.63
H	8.5	0.33	T	5.0	0.20
L	7.1	0.28	-	-	-

Todas las dimensiones son para cadenas en acetil (POM).

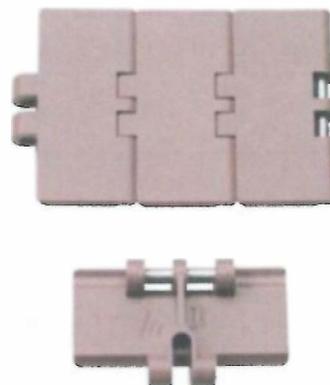


Figura 3.3. Cadena uni 831 (7)

El peso que la cadena tiene que movilizar estará en función al peso del botellón sumado al peso del portabotellón. Esto es, unos 300 gr por el botellón vacío y 1 kg por el portabotellón (fabricada de plástico para un menor costo y evitar la corrosión), dando un total de 1,3 kg. Teniendo 10 de estos instalados en las dos cadenas pero que solo 6 estarán cargadas al mismo tiempo con un botellón, el peso total a mover sería de menos de 12 kg. La Figura 3.4 ilustra la disposición con la cual se procederá a la selección de la cadena:

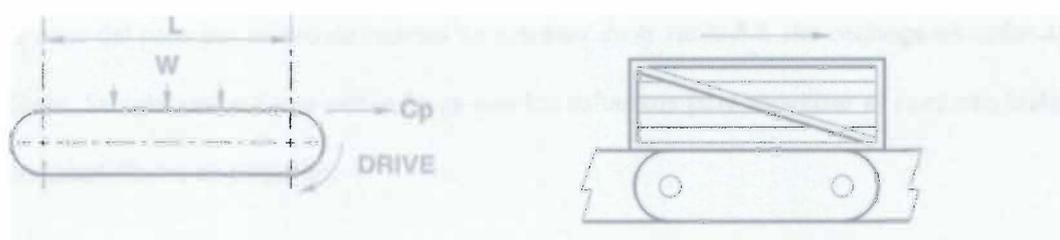


Figura 3.4. Disposición de la carga. (15)

Requerimientos básicos para el cálculo:

- Distancia entre centros de los sprockets: 1975 mm
- Número de cadenas: 2
- Velocidad de cadena: 0,21 m/s
- Peso del material a transportar: 12 kg

$$Cp = 9,81 * \mu_c [(2,05 * W_c * L) + m] \text{ (N)} \quad (3.3)$$

$$W = \frac{Cp * V}{1000} \text{ (kW)} \quad (3.4)$$

Dónde:

- Cp = fuerza total de tracción de la cadena (N)
- L = 1,975 m (distancia entre centros)
- W_c = peso por metro de cadena (kg/m)
- m = 12 kg (peso total a transportar)
- V = 0,21 m/s (velocidad de cadena)
- μ_c = 0,4 coeficiente de fricción
- W = potencia requerida en el eje (kW)

El valor del peso por metro de cadena se extraerá de la Tabla 3.1 del catálogo de cadenas Uni Chain. Se seleccionará una pequeña ya que los esfuerzos para movilizar el conjunto botellón-portabotellones es pequeño.

Tabla 3.1 Catálogo Uni Chains

	referencia uni				ancho W		peso	
	POM-D	POM-D	POM-LF	POM-SLF	mm	pul.	kg/m	lb/ft
uni 831-K250	30D831K250W	30D831K250G*	30LF831K250	30SLF831K250*	63,5	2,50	0,9	0,61
uni 831-K325	30D831K325W	30D831K325G*	30LF831K325	30SLF831K325*	82,6	3,25	1,0	0,67
uni 831-K350	30D831K350W	30D831K350G*	30LF831K350	30SLF831K350*	88,9	3,50	1,1	0,74
uni 831-K400	30D831K400W	30D831K400G*	30LF831K400	30SLF831K400*	101,6	4,00	1,2	0,81
uni 831-K450	30D831K450W	30D831K450G*	30LF831K450	30SLF831K450*	114,3	4,50	1,3	0,87
uni 831-K600	30D831K600W	30D831K600G*	30LF831K600	30SLF831K600*	152,4	6,00	1,6	1,05
uni 831-K750	30D831K750W	30D831K750G*	30LF831K750	30SLF831K750*	190,5	7,50	1,8	1,21

La primera opción es suficiente para los requerimientos, por lo cual $W_c=0.9 \text{ kg/m}$ y con esto:

$$C_p = 9,81 * 0,4[(2,05 * 0,9 * 1,975) + 12] = 61,4 \text{ N}$$

$$W = \frac{61,4 * 0,21}{1000} = 0,013 \text{ kW} = 0,02 \text{ HP}$$

La cadena seleccionada soporta un esfuerzo de hasta 2000 N, muy por encima de los 61,4 N a los que estará sometida, por lo tanto, así se le debilite con algunos agujeros para poder acoplarla al portabotellones, el eslabón no fallará.

Los sprocket se clasifican además por los esfuerzos soportados y su material, pero como lo primero no es un inconveniente en este caso, se escogerá uno de plástico por economía. El diámetro primitivo, además, debe ser tal que permita que la tubería de agua-detergente pase por el medio de la cadena, con lo que se preferirá un sprocket de diámetro a partir de 14 cm. De

la Tabla 3.2 se escogerá entonces el modelo 303382023N de 141,2 mm de diámetro primitivo, 23 dientes y que es usado con un eje de 20 mm de diámetro como mínimo.

Tabla 3.2 Sprockets para uni 820 y 831 (7)

n° de dientes	diámetro primitivo		eje						referencia uni	
			min.		máx. plástico		máx. h° fundido		hierro fundido	poliamida
	mm	pul.	mm	pul.	mm	pul.	mm	pul.		
19	117.3	4.62	20.0	0.79	40.0	1.57	50.0	1.97	303282019C1	303382019N
21	129.2	5.09	20.0	0.79	40.0	1.57	50.0	1.97	303282021C1	303382021N
23	141.2	5.56	20.0	0.79	40.0	1.57	50.0	1.97	303282023C1	303382023N
25	153.2	6.03	20.0	0.79	40.0	1.57	50.0	1.97	303282025C1	303382025N
27	165.2	6.50	20.0	0.79	100.0	3.94	57.2	2.25	303282027C1	303382027N
29	177.2	6.98	20.0	0.79	100.0	3.94	57.2	2.25	303282029C1	303382029N
31	189.3	7.45	20.0	0.79	100.0	3.94	57.2	2.25	303282031C1	303382031N



Ancho rueda:
12,3 mm (1.67 pul.)

* Rueda maciza.
Eje y chavetero bajo pedido.

Con este diámetro y la velocidad de 0,21 m/s, se obtiene la velocidad angular mínima a la cual debe girar el eje de transmisión:

$$\omega = \frac{0,21}{0,1412/2} = 2,97 \frac{rad}{s} \quad (3.5)$$

$$N = 2,97 * \frac{30}{\pi} = 28,4 \text{ rpm} \quad (3.6)$$

Con lo cual una velocidad de entre 28,4 y 30 rpm cumplirían con transportar los botellones de estación a estación en un tiempo igual o menor a 2 segundos. Para los cálculos posteriores se tomará entonces N=30 rpm.

Para unir el portabotellón con el eslabón, se realizarán dos agujeros de 6,1 milímetros de diámetro como se aprecia en la Figura 3.5 y se conectarán mediante enganches de Nylon con el portabotellones (Figura 3.6). Esta operación se realizará para unir los 10 portabotellones, por lo cual se necesitará modificar 20 eslabones con estas características.

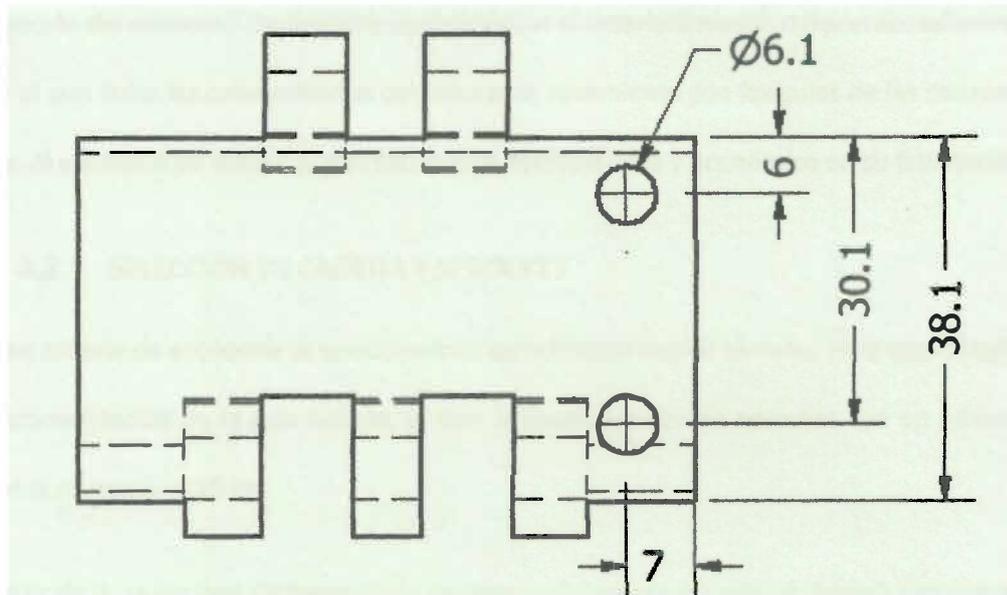


Figura 3.5. Esquema de eslabón con agujeros de conexión (7)

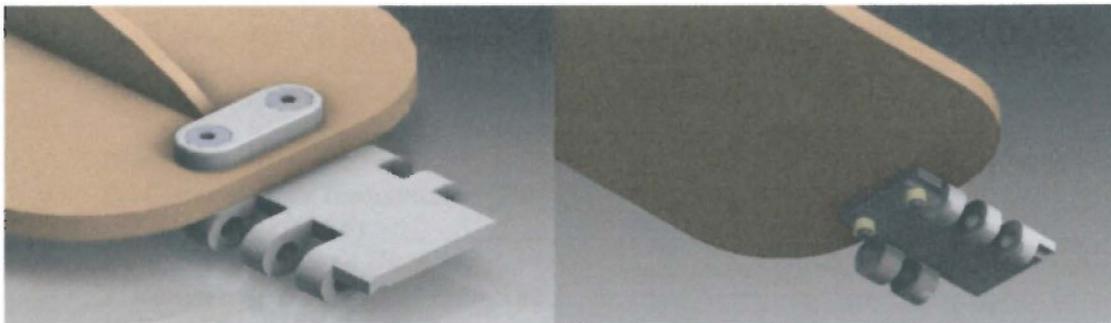


Figura 3.6. Enganche de eslabón agujereado con portabotellón

Además se fabricarán los portabotellones y la bandeja de portabotellones de polietileno de alta densidad (PEAD) por ser un termoplástico con excelente resistencia química (apropiado para la interacción con soda cáustica), además de su bajo costo y fácil conformado (8). Los enganches antes mencionados, así como los elementos de desgaste se fabricarán de Nylon, por su facilidad en el mecanizado de piezas pequeñas como estas, además de su buena resistencia química. En específico, se utilizará Nylon 6.6 por su mejor respuesta en ambientes húmedos debido a su mayor impermeabilidad (a comparación del Nylon 6).

La función del elemento de desgaste es el de evitar el deterioramiento del portabotellones y ser este el que sufra las consecuencias del constante rozamiento con las guías de las cadenas. Así pues, el elemento de desgaste será fácilmente reemplazable y económico en su fabricación.

3.2.1 SELECCIÓN DE CADENA Y SPROCKET

Por un criterio de economía se seleccionarán sprockets de menor tamaño, pero que cumpla con la recomendación de la guía Renold, la cual aconseja utilizar los sprocket con un número de dientes no menor a 19 (6).

A partir de la capacidad de transmisión determinaremos el paso que el sistema de transmisión motriz requerirá. Empezaremos probando con un número de dientes del sprocket $Z=21$ para iniciar la selección, de este modo se obtiene:

$$Ct = K * Z^{1,08} * N^{0,9} * p^{3-(0,07)*p} \quad (3.7)$$

Donde:

Ct : Capacidad de transmisión [HP]

K : Constante (0,004)

p : Paso de la cadena [inch]

Z : Número de dientes del sprocket

N : Revoluciones por minuto

Así, para $p = 1/4"$, tenemos:

$$Ct = 0,004 * 21^{1,08} * 30^{0,9} * 0,25^{3-(0,07)*0,25}$$

$$Ct = 0,04HP$$

Análogamente, para $p = 3/8"$, tenemos:

$$Ct = 0,004 * 21^{1,08} * 30^{0,9} * 3/8^{3-(0,07)*3/8}$$

$$Ct = 0,12HP$$

Como se puede apreciar, el sistema de transmisión de cadenas livianas de paso $1/4"$ presenta una capacidad acorde y suficiente para los requerimientos de potencia calculados anteriormente (0,02 HP).

Para calcular la longitud de cadena, hace falta conocer la distancia entre ejes, para esto se empleará la recomendación de que dicha longitud debe estar en el rango de entre 30 – 50 veces el paso. De este modo inicialmente se utilizará un valor de 50 veces el paso como distancia entre ejes ya que al ser un paso de 1/4", la distancia será corta.

Para realizar este cálculo del sistema de transmisión se hará uso del programa on line que proporciona la empresa SKF (Figura 3.7), en donde se introducirán los siguientes valores:

- Potencia de la transmisión: 0,1 kW
- Velocidad del sprocket motriz: 30 rpm
- Velocidad del sprocket conducido: 30 rpm
- Tipo de máquina conductora: Carga uniforme
- Tipo de máquina conducida: Funcionamiento suave
- Tipo de cadena: ANSI
- Distancia entre los ejes: 397,5 mm
- Número de dientes del piñón: 19-21

1.0 Condiciones de carga, parámetros de funcionamiento

1.1 Unidades de cálculo

1.2 Potencia transmitida

1.3 Velocidad del piñón (diseñada)

1.4 Velocidad del piñón (real)

1.5 La relación de transmisión deseada / real

1.6 Par

1.7 Tipo de máquina conductora (cargada)

1.8 Tipo de máquina conducida (cargada)

1.9 Tipo de lubricación

1.10 Número de eslabones de la cadena

1.11 Número de dientes del piñón

1.12 Tipo de cadena

ANSI Chain (standard)

1.13 Distancia de los ejes para el diseño automático

1.14 Gama de dientes del piñón más pequeño

1.15 Mostrar sólo aquellas soluciones que se encuentren dentro de los límites de diseño recomendados

1.16 Diseño automático - pulso de tecla

1.17 Ordenar los resultados según el parámetro

Unidades SI (N, mm, kW)

P 0.1 0.1 [kW]

n 30 30 [rpm]

n 30 30.00 [rpm]

i 1.000 1.000

Mk 4.14 3.18 [Nm]

A. Carga uniforme o choques ligeros

A. Funcionamiento suave

C. Sin lubricación

Dientes e impares

Paros e impares

Paros e impares

397.5 [mm]

19 21

Diseño automático

Velocidad de la cadena

Figura 3.7 Selección de cadenas SKF (16)

Posteriormente, los resultados son representados en la Tabla 3.3:

Tabla 3.3 (16)

SKF	Tipo	z1	z2	m2	i	A	Fp	v	SD	p	SP	Fp%	Índice de precios
25 - 1	(€ 38)	20	20	30	2	317.5	0.08	0.06	16.32	19.7	1.48	86	100.831

Como se puede apreciar en la tabla de resultados de SKF, existe concordancia con la selección tentativa que se realizó para determinar el paso de la transmisión. Los detalles de la cadena y piñones seleccionados mediante el programa de SKF se muestran en la Figura 3.8.

Selección final de productos SKF:

Cadena: **PHC 25-1X...**
 Piñón 1: **PHS 25-1B20**
 Piñón 2: **PHS 25-1B20**
 Distancia entre centros: **317.5**
 Índice de precios: **100.831**

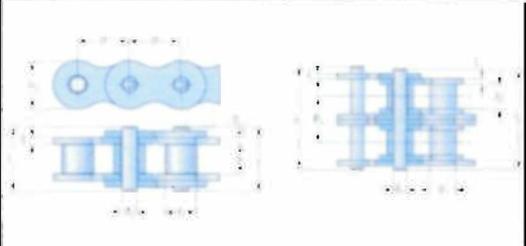
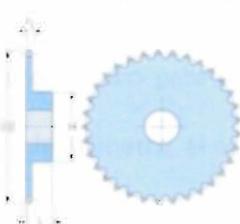
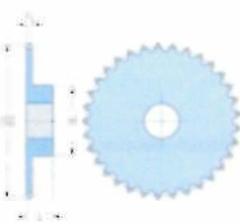
La solución SKF	
Selección final de productos SKF:	
Cadena:	PHC 25-1X...
	
Piñón 1:	PHS 25-1B20
	
Piñón 2:	PHS 25-1B20
	
Distancia entre centros:	317.5 [mm]

Figura 3.8 Cadena y piñones seleccionados (16)

3.3 CÁLCULOS DE EJES Y CHAVETA

Para la selección del eje se busca que la deflexión máxima a carga total sea menor a $f_{max}=2,5mm$ (9) como se esquematiza en la Figura 3.9. Para el cálculo y como caso extremo, se asumirá que la carga se situará en el centro del eje con lo cual:

$$f = \frac{5}{384} * C_p * \frac{I_b^3}{E * I} \quad (3.8)$$

Dónde:

- $C_p=61,4$ N
- $I_b=610$ mm
- $E=200000$ N/mm² (módulo de elasticidad para acero AISI-SAE 1045)
- I =momento de inercia

$$2,5 = \frac{5}{384} * 61,4 * \frac{610^3}{200000 * I} \Rightarrow I = 372,2mm^4$$

$$I = \frac{1}{4} \pi R^4 \Rightarrow R = 4,7mm$$

Con lo cual el diámetro mínimo para una deflexión de 2,5 mm será de 9,4 mm. Se utilizará entonces un eje de 1" de diámetro, el cual se maquinará para obtener un diámetro de 3/4" en los extremos donde irán colocadas las chavetas y los apoyos (chumaceras).

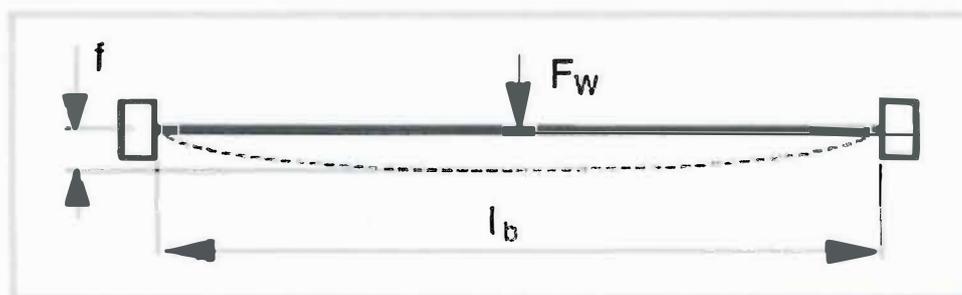


Figura 3.9 Esquema de disposición de carga (9)

Para hallar la fuerza torsional máxima que se debe proporcionar en el lado del motorreductor se tomará el diámetro primitivo del sprocket seleccionado previamente (141,2 mm) y la fuerza de 61,4 N que tiene que desplazar. Con esto:

$$T = 61,4 * \frac{147,22}{1000 * 2} = 4,52 Nm \quad (3.9)$$

De la Tabla 3.4 se verifica que el diámetro seleccionado soporta la carga con creces:

Tabla 3.4 Fuerza torsional soportada según diámetro

Eje $\varnothing(dw)$		Acero al carbono		Acero Inoxidable	
mm	pulg.	Nm	lbf.pulg.	Nm	lbf.pulg.
20	0,75	94	0,834	141	1,251
25	1	184	1,629	276	2,444
30	1 3/16	318	2,815	477	4,223
40	1,5	754	6,673	1131	10,009
45	1 3/4	1074	9,501	1610	14,251
50	2	1473	13,033	2209	19,549
55	2 1/4	1960	17,347	2940	2,602
60	2,5	2545	22,520	3817	33,781
80	3	6032	53,382	9048	80,073
90	3.5	8588	76,007	12882	114,010

Con el diámetro hallado de estos cálculos preliminares se pasará a seleccionar las chavetas según DIN 6885/1. Para el diámetro seleccionado, la norma recomienda tomar una chaveta con $b = h = 6$ mm, donde b es el ancho y h el alto de la chaveta como se muestra en la Figura 3.10. El material a utilizar será el AISI-SAE 1045, el cual tiene un esfuerzo de fluencia $S_y = 310$ MPa.

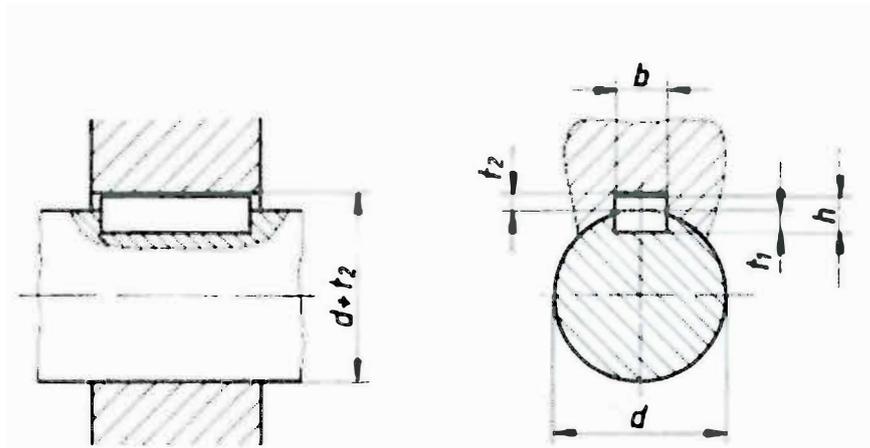


Figura 3.10 Chaveta paralela S/DIN-6885/1 (10)

Para el cálculo por cortadura se trabajará con las siguientes ecuaciones:

$$F = \frac{T}{D/2} [N] \quad (3.10)$$

$$\tau = \frac{F}{A_s} = \frac{T}{b * L * D/2} \Rightarrow L_{mtn} = \frac{2T}{\tau_a * D * b} \quad (3.11)$$

$$\tau_a = 0,5 * \frac{S_y}{FS} \quad (3.12)$$

Donde:

- F=fuerza de corte [N]
- D = 19,05mm (diámetro del eje)
- As = Área de corte (mm²)
- T = 4520 N.mm (torque en el eje)
- b = 6 mm (ancho de la chaveta)
- τ = esfuerzo cortante (MPa)
- τ_a = esfuerzo cortante de diseño (MPa)
- FS = 3 (factor de seguridad recomendado)

- $S_y = 310$ MPa (esfuerzo de fluencia para un acero AISI-SAE 1045)

Con estos datos y reemplazando en las ecuaciones anteriores se tendrá:

$$\tau_d = 0,5 * \frac{310}{3} = 51,7 \text{ MPa}$$

$$L_{min} = \frac{2 * 4520}{51,7 * 19,05 * 6} = 1,53 \text{ mm}$$

Para el cálculo por aplastamiento se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad (3.13)$$

$$\sigma = \frac{4T}{D * L * h} \Rightarrow L_{min2} = \frac{4T}{\sigma_d * D * h} \quad (3.14)$$

Donde:

- σ_d = esfuerzo de fluencia de diseño (MPa)
- $h = 6$ mm (altura de la chaveta)

Y reemplazando en las ecuaciones anteriores:

$$\sigma_d = \frac{310}{3} = 103 \text{ MPa}$$

$$L_{min2} = \frac{4 * 4520}{103 * 19,05 * 6} = 1,54 \text{ mm}$$

Con lo cual la longitud mínima de chaveta será de 1,54 mm, pero para chavetas con $b=h=6$ mm como es nuestro caso, se recomienda una longitud de entre 14 y 70 mm (10) como se muestra

en la Tabla 3.5. Ya que con 14 mm se tiene una longitud bastante más grande de la longitud mínima calculada, se seleccionará esta.

Tabla 3.5 Dimensión de chavetas según DIN 6885 (11)

Sección b x h	Ancho b		Altura h		Chafán b ₁		Longitud l ⁽²⁾	
	Nominal	Tolerancia h9	Nominal	Tolerancia (¹)	Mínimo	Máximo	de	a
2 x 2	2	0	2	0	0,16	0,25	6	20
3 x 3	3	-0,025	3	-0,025	0,16	0,25	6	36
4 x 4	4	0	4	0	0,16	0,25	8	45
5 x 5	5	-0,030	5	-0,030	0,25	0,40	10	56
6 x 6	6	0	6	0	0,25	0,40	14	70
8 x 7	8	0	7	0	0,25	0,40	18	90
10 x 8	10	-0,036	8	0	0,40	0,6	22	120
12 x 8	12	0	8	-0,090	0,40	0,6	28	140

Por último, de la Tabla 3.6 se extrae el valor de t_1 que se presenta en la Figura 3.6 y se calcula t_2 sabiendo que:

$$h = t_1 + t_2 \quad (3.15)$$

$$t_1 = 3,5 \text{ mm}$$

$$t_2 = 2,5 \text{ mm}$$

Tabla 3.6 Medidas del chavetero (11)

Ø eje d mm desde- hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m
		d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m		
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1	3,5	+0,2
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1	

Ya con las chavetas calculadas se pasará a una comprobación más exhaustiva de los esfuerzos a los que el eje estará sometido como es el caso de la fatiga. Para esto se empezará calculando todas las fuerzas que afectan al eje, así como las reacciones en los apoyos, los momentos torsores y flectores. Para mayor factor de seguridad, se asumirá que la totalidad del eje tiene diámetro 3/4" y se analizará únicamente el eje más cargado (el eje conductor).

En la Figura 3.11 se presenta un esquema del plano horizontal (XY) junto con el diagrama de fuerzas y momentos resultantes, donde:

- $F_1 = 30,7 \text{ N}$ (fuerza de tracción de las cadenas)
- R_{1x} y R_{2x} son las reacciones en el plano XY en los apoyos (N)
- $F_x = 112 \cdot \cos(60) = 56 \text{ N}$ (fuerza de tracción de la cadena de transmisión en el plano XY)

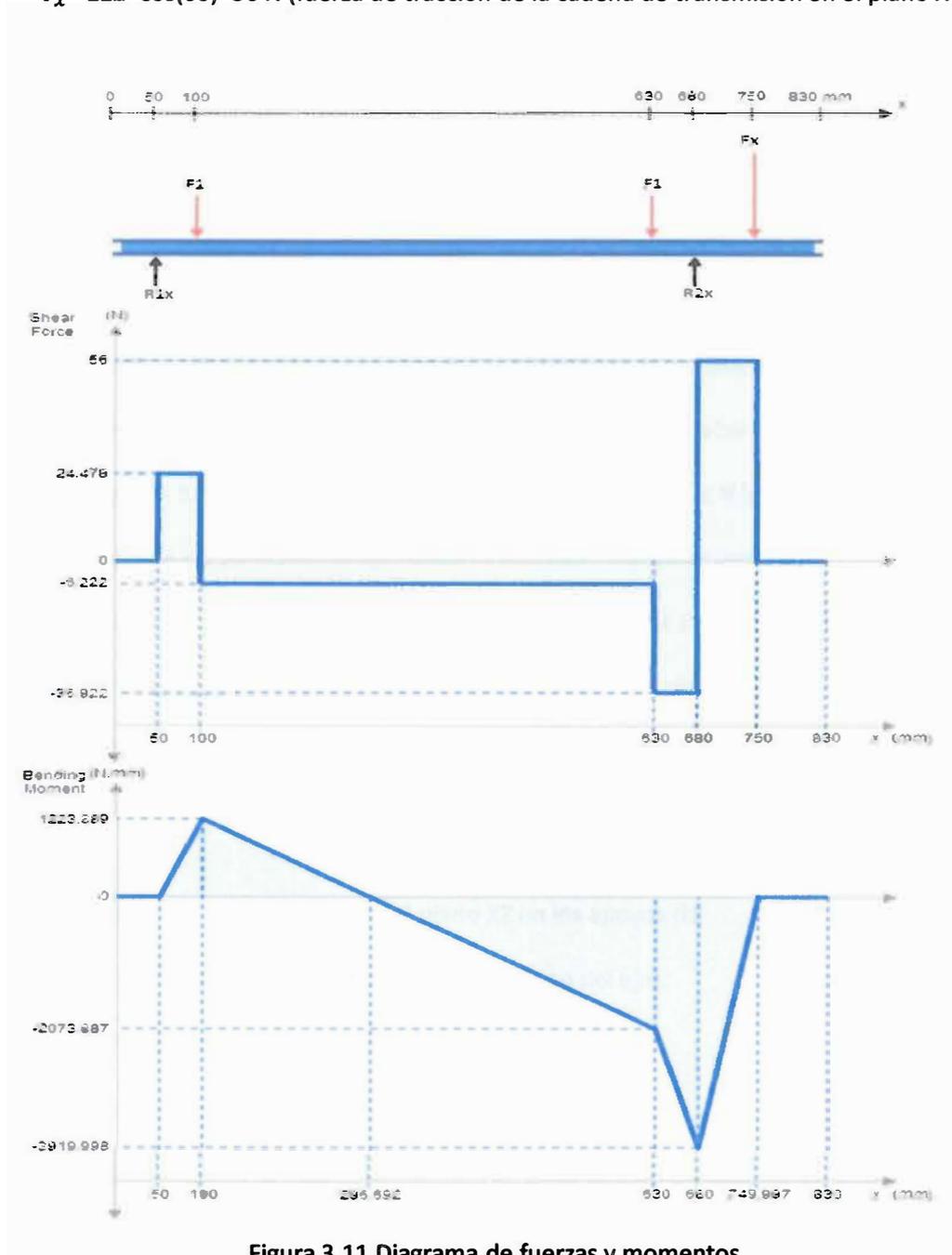


Figura 3.11 Diagrama de fuerzas y momentos flectores en el eje (plano XY)

Para hallar las reacciones en los apoyos se procederá entonces con la sumatoria de momentos flectores en R_{2x} como sigue:

$$R_{1x} = \frac{F_1(530 + 50) - F_x * 70}{630} \quad (3.16)$$

$$R_{1x} = \frac{30,7 * 580 - 56 * 70}{630} = 24,48N$$

$$R_{2x} = 2 * F_1 + F_x - R_{1x} \quad (3.17)$$

$$R_{2x} = 2 * 30,7 + 56 - 24,48 = 92,92$$

En la Figura 3.12 se presenta la disposición de las fuerzas, el diagrama de fuerzas y momentos flectores para este plano, donde se consideró el peso del eje como una fuerza distribuida. El material utilizado para la fabricación del mismo será acero inoxidable por lo que, para un diámetro de eje de 3/4", se tendrá una fuerza distribuida de 0,022 N/mm. Se considerarán también los pesos de los sprocket transportadores los cuales tienen un ancho de 42,3 mm como se ve en la Tabla 3.2 y se fabricarán de polivinilo de flúor por su alta resistencia a productos químicos (para evitar cualquier problema por el contacto con sosa cáustica). La densidad de este material es de 1780 Kg/m³ con lo cual la fuerza con la que se calculará será de 4,9 N. Se tendrá entonces:

- R_{1z} y R_{2z} son las reacciones en el plano XZ en los apoyos (N)
- $Q=0,022$ N/mm (fuerza distribuida debido al peso del eje).
- $Q'=0,8*0,022=17,6$ N (fuerza total del peso del eje)
- $W_1 = 4,9$ N (peso del sprocket transportador)
- $F_z = 112*\text{sen}(60)=97$ N (fuerza de tracción de la cadena de transmisión en el plano XZ)

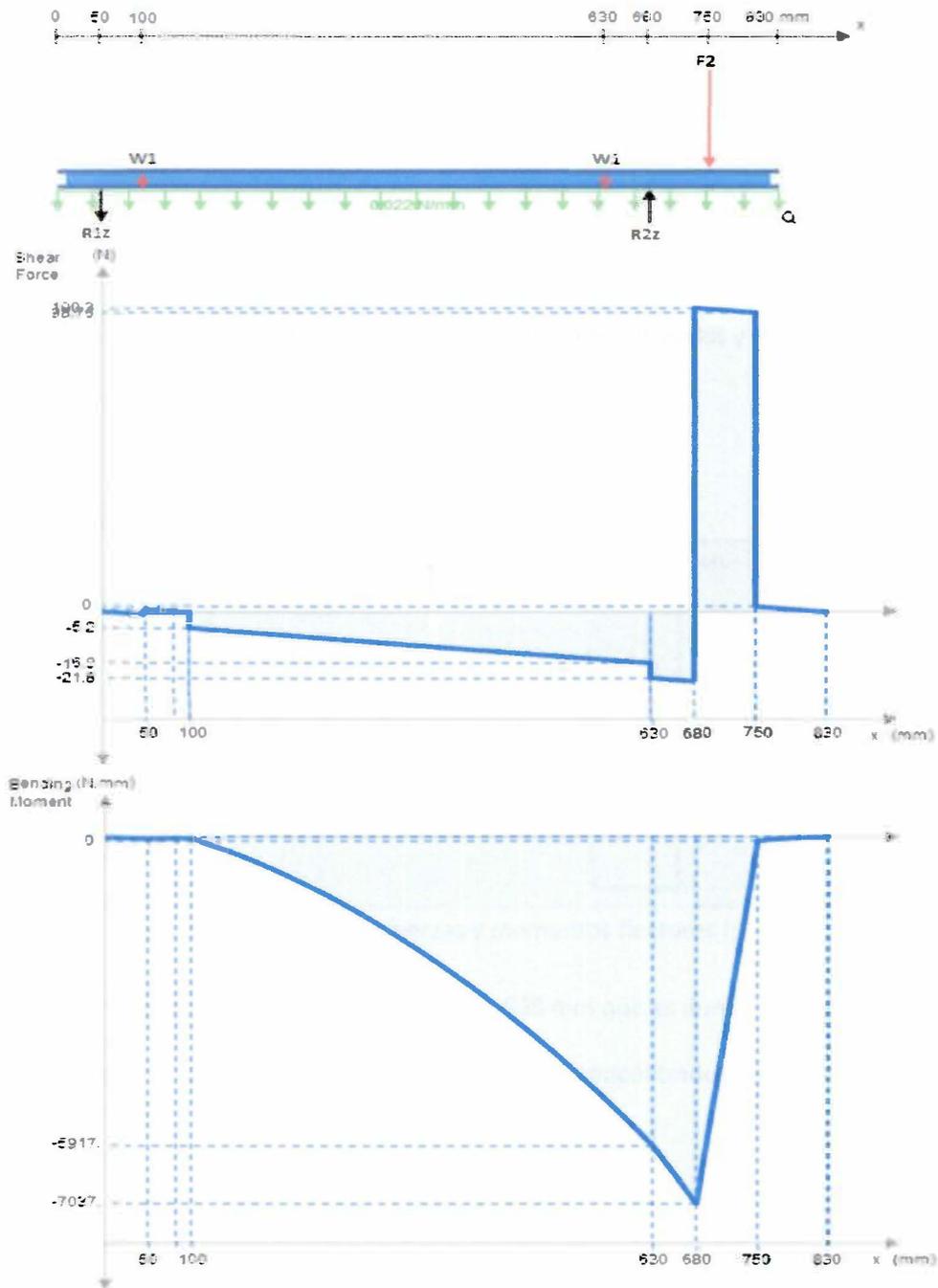


Figura 3.12 Esquema de fuerzas en el eje (plano XZ)

La fuerza distribuida se trabajará como una fuerza puntual de 17,6 N en la mitad del eje y, de la misma manera que en el caso anterior, se realizará la sumatoria de momentos en R_{2z} :

$$R_{1z} = \frac{W_1(530 + 50) + Q' * 280 - F_z * 70}{630} \quad (3.18)$$

$$R_{1z} = \frac{4,9 * (530 + 50) + 17,6 * 280 - 97 * 70}{630} = 1,75N$$

$$R_{2z} = 2 * W_1 + F_z + Q' - R_{1z} \quad (3.19)$$

$$R_{2z} = 2 * 4,9 + 97 + 17,6 - 1,75 = 124,45N$$

Obtenido esto y con los momentos torsores anteriormente calculados y presentados en la Figura 3.13, se procederá al cálculo por fatiga del eje.

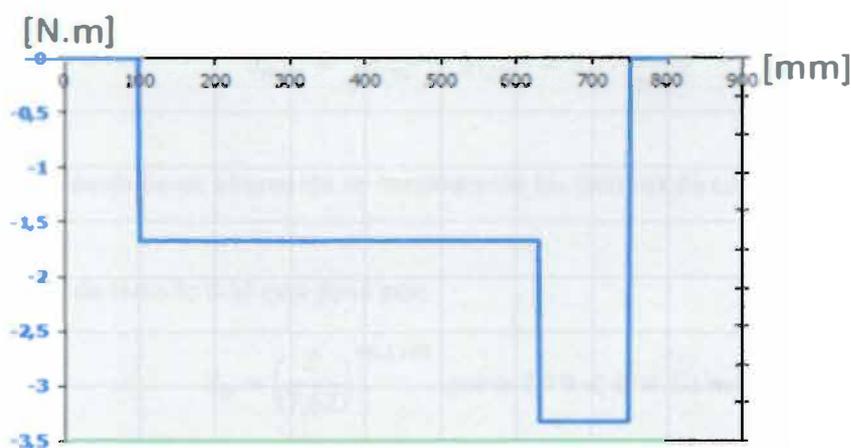


Figura 3.13 Diagrama de fuerzas y momentos flectores (plano XY)

Los puntos críticos a analizar serán entonces $X = 680$ mm que es donde se encuentra el pico de momento flector y $X = 630$ mm ya que ahí existe un concentrador de esfuerzos debido a la chaveta.

Para $x=680$ mm:

- $M_f=8105$ N.mm
- $M_t=4520$ N.mm
- $D=19,05$ mm

El esfuerzo de flexión alternante puro está dado por:

$$\sigma_{fa} = \sigma_{fs} = \frac{32 M_f}{\pi * D^3} = 11,94 \frac{N}{mm^2} \quad (3.20)$$

$$\tau_{tm} = \tau_{ts} = \frac{16 M_t}{\pi * D^3} = 3,33 \frac{N}{mm^2} \quad (3.21)$$

Esfuerzo equivalente medio o estático:

Para flexión $\rightarrow \sigma_{fm} = 0$

Para torsión $\rightarrow \tau_{tm} = 3,33 \frac{N}{mm^2}$

Entonces, el esfuerzo equivalente según Von Mises será:

$$\sigma_{meq} = \sqrt{\sigma_{fm}^2 + 3\tau_{tm}^2} = 5,77 \frac{N}{mm^2} \quad (3.22)$$

Para el esfuerzo equivalente alternante se considerarán los factores de corrección siguientes:

- El factor de tamaño (K_b) está dado por:

$$K_b = \left(\frac{D}{7,62}\right)^{-0,1133} \quad \text{para } 2,79 < D < 51 \text{ mm} \quad (3.23)$$

Por lo tanto $K_b=0,9$

- Para el factor de superficie (K_a) se asumirá un eje rectificado y extraeremos los valores de a y b de la Tabla 3.7. Además $\sigma_R=570$ MPa para el acero AISI-SAE 1045.

Tabla 3.7 Factores de superficie según acabado (17)

Acabado de superficie	Factor a		Exponente b
	kpsi	MPa	
Esmerilado (rectificado)	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o estirado en frío	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Forjado	39,9	272	-0,995

$$K_a = a(\sigma_R)^b = 0,92 \quad (3.24)$$

- El factor de confiabilidad (K_c) está dado por:

$$K_c = 1 - \varepsilon * D \quad (3.25)$$

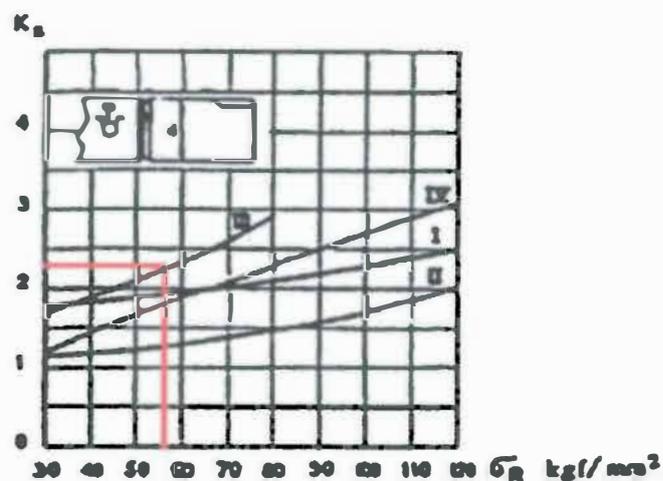
Donde $\varepsilon=0,08$ es la desviación típica para los aceros y D factor de multiplicación para una probabilidad de vida del 90% (extraído de la Tabla 3.8). Con esto $K_c=0.896$.

Tabla 3.8 Factor de confiabilidad según probabilidad de vida (17)

Probabilidad de vida	Factor de multiplicación de la desviación D
50	0
85	1
90	1.3
95	1.6
99	2.3

- Por último, el coeficiente de forma $K_s=2,35$ se extrajo de la Tabla 3.9 y se utilizará para el caso en que exista un concentrador de esfuerzos por chaveta, en caso contrario, se tomará $K_s=1$.

Tabla 3.9 Coeficiente de forma debido a canal chavetero (17)



Curva I: Agujero transversal, $\phi = 0,175 d$
 Curva II: Ranura anular, profundidad 1 mm

Curva III: Chavetero.
 Curva IV: Cubo a presión.

Con esto se tendrán todos los factores de corrección y tendremos:

$$K = \frac{K_b * K_a * K_c}{K_s} \quad (3.26)$$

$$K_{680} = 0,9 * 0,92 * 0,896 = 0,742$$

$$K_{630} = \frac{0,9 * 0,92 * 0,896}{2,35} = 0,316$$

Donde K_{680} será el factor a utilizar para $x=680\text{mm}$ y K_{630} , el factor para $x=630\text{mm}$. El esfuerzo equivalente alternante será por lo tanto:

$$\text{Para flexión} \rightarrow \sigma'_{fa} = \frac{\sigma_{fa}}{K_{680}} = 16,09 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Para torsión } \tau_{ta} = 0 \text{ por un esfuerzo estático} \rightarrow \tau'_{ta} = \frac{\tau_{ta}}{K_{680}} = 0$$

$$\therefore \sigma'_{aeq} = \sigma'_{fa} = 16,09 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

El factor de seguridad a la fatiga está dado por:

$$\frac{1}{FS} = \frac{\sigma_{mec}}{\sigma_R} + \frac{\sigma'_{aeq}}{\sigma_{Alt}} \quad (3.27)$$

Donde $\sigma_{Alt} = 0,5\sigma_R$ si $\sigma_R < 1400 \frac{N}{\text{mm}^2}$ como es el caso, por lo tanto $\sigma_{Alt} = 285 \frac{N}{\text{mm}^2}$,

entonces:

$$\frac{1}{FS} = \frac{5,77}{570} + \frac{16,09}{285}$$

$$FS = 15$$

Para el factor de seguridad a la fluencia:

$$FS = \frac{\sigma_F}{\sigma_{seq}} \quad (3.28)$$

Donde $\sigma_F = 310 MPa$ para el acero utilizado y el esfuerzo equivalente superior está dado por:

$$\sigma_{seq} = \sqrt{\sigma_{fs}^2 + 3\tau_{ts}^2} = \sqrt{11,94^2 + 3 * 3,33^2} = 13,3 \frac{N}{mm^2} \quad (3.29)$$

$$FS = \frac{310}{13,3} = 23,4$$

Para $x=630$ se trabajará de la misma manera con la diferencia que en este caso:

- $M_t = 2260 \frac{N}{mm^2}$
- $M_f = 6020 \frac{N}{mm^2}$
- $K = K_{630} = 0,316$

Con esto se encuentran todos los valores como en el caso anterior con el fin de comprobar si existe un alto factor de seguridad.

$$\sigma_{fa} = \sigma_{fs} = \frac{32 M_f}{\pi * D^3} = 8,87 \frac{N}{mm^2} \quad (3.30)$$

$$\tau_{tm} = \tau_{ts} = \frac{16 M_t}{\pi * D^3} = 1,66 \frac{N}{mm^2} \quad (3.31)$$

Para flexión $\rightarrow \sigma_{fm} = 0$ y $\sigma'_{fa} = \frac{\sigma_{fa}}{K_{680}} = 16,09 \frac{N}{mm^2}$

Para torsión $\rightarrow \tau_{tm} = 1,66 \frac{N}{mm^2}$ y $\tau_{ta} = 0$ por un esfuerzo estático $\rightarrow \tau'_{ta} = \frac{\tau_{ta}}{K_{680}} = 0$

$$\sigma_{meq} = \sqrt{\sigma_{fm}^2 + 3\tau_{tm}^2} = 2,88 \frac{N}{mm^2} \quad (3.32)$$

$$\sigma'_{aeq} = \sigma'_{fa} = 28,07 \frac{N}{mm^2}$$

El factor de seguridad a la fatiga será entonces:

$$\frac{1}{FS} = \frac{2,88}{570} + \frac{28,07}{285}$$

$$FS = 9,7$$

Para el factor de seguridad a la fluencia:

$$\sigma_{seq} = \sqrt{\sigma_{fs}^2 + 3\tau_{ts}^2} = \sqrt{8,87^2 + 3 * 1,66^2} = 9,32 \frac{N}{mm^2} \quad (3.3)$$

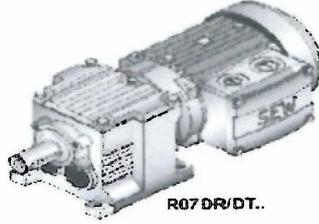
$$FS = \frac{310}{9,32} = 33,2$$

Con esto se verifica que el eje tendrá una vida muy prolongada sin riesgo de fallar a fatiga.

3.3.1 SELECCIÓN DE MOTORREDUCTOR Y CHUMACERAS

Hallados la potencia necesaria, momento torsor y rpm, se selecciona el motorreductor SEW Eurodrive modelo R07DT56M4 de 0,9 kW de potencia, 29 rpm, un peso de 6 kg y eje 20 mm. Los datos se muestran en la Tabla 3.10:

Tabla 3.10 Motorreductores SEW Eurodrive (18)

P_m [kW]	n_a [1/min]	M_a [Nm]	i	$F_{Ra}^{1)}$ [N]	SEW t_D		m [kg]							
0.09	17	52	78.24	1490	0.95		5.9	10						
	18	47	71.47	1520	1.05									
	22	40	60.32	1570	1.25									
	25	34	51.52	1590	1.45									
	27	32	47.78	1600	1.60									
	29	29	44.16	1610	1.70									
	31	27	41.31	1600	1.85									
	32	27	40.34	1590	1.85									
	34	26	38.51	1570	1.95									
	38	23	34.05	1520	2.2									
	45	19	29.08	1460	2.6									
	48	18	26.97	1430	2.8									
	56	15	23.32	1370	3.3									
	60	14	21.73	1350	3.5									
									R	07	DT	56M4	5.9	10
									RF	07	DT	56M4	5.9	11



Debido a que la velocidad de salida de este motorreductor es de 29 rpm, no será necesario ningún ajuste de la velocidad y se trabajará con una relación de 1:1 en la transmisión de potencia con la cadena.

También se seleccionarán los rodamientos adecuados para cada apoyo del eje de acuerdo a las cargas a las cuales estarán sometidos (en este caso, puramente radiales), a la vida útil deseada y a la confiabilidad de los mismos. La selección de rodamientos según el criterio de carga estática se realiza cuando la frecuencia de rotación de este es menor a 10 rpm, pero como en este caso la velocidad de rotación del eje es de aproximadamente 30 rpm, se utilizará el criterio de capacidad de carga dinámica.

Para calcular la duración de un rodamiento con cualquier carga aplicada se emplea la siguiente relación:

$$L_{na} = \left(\frac{C}{P}\right)^p * a_1 * a_{23} \quad (3.34)$$

Donde:

- L_{na} = Duración de un rodamiento sometido a una carga sin que ocurra fatiga superficial en un tiempo menor a 1 millón de ciclos con una fiabilidad determinada por el factor a_1 .
 - C = Capacidad de carga dinámica. [N]
 - p = Exponente de duración. ($p = 3$ Rodamientos de bolas, $p = 1/3$ rodillos).
 - P = Es la carga equivalente dinámica en el rodamiento que se definirá como la carga hipotética radial, constante en magnitud y dirección que, si aplicada, tendrá la misma influencia en la vida del rodamiento que la carga real a la que el rodamiento está sujeto.
- En este caso en particular, al no existir carga axial, $P=Cp=61,4$ N.

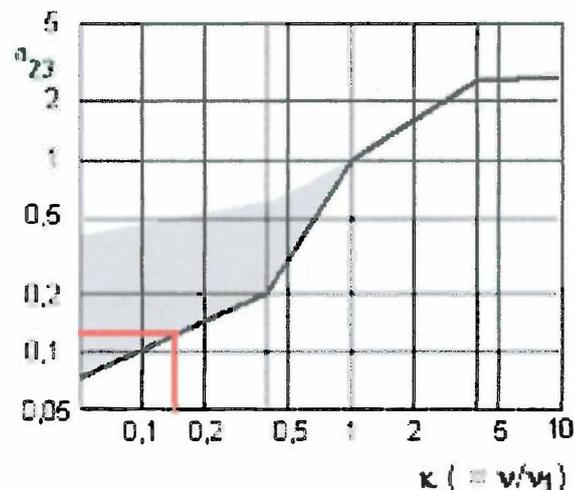
- a_1 = Factor que toma en cuenta el efecto de la fiabilidad en el cálculo de la duración. Este factor puede ser extraído de la Tabla 3.11 y, para ser rigurosos, se tomará una fiabilidad del 95%, es decir, $a_1 = 0,62$.
- a_{23} = Factor que toma en cuenta las condiciones de limpieza del lubricante, así como su viscosidad.

Tabla 3.11 Factores de modificación según fiabilidad (20)

Fiabilidad %	L_{na}	a_1
90	L_{10}	1
95	L_5	0,62
96	L_4	0,53
97	L_3	0,44
98	L_2	0,33
99	L_1	0,21

El factor $a_{23} \approx 0,135$ se extrae a partir de la Tabla 3.12 donde k es la relación entre la viscosidad del lubricante real que posee el rodamiento a la temperatura de trabajo (ν) y la viscosidad cinemática de referencia del lubricante para el rodamiento seleccionado (ν_1).

Tabla 3.12 Factor según relación de viscosidades (19)



De la página de SKF se seleccionaron las chumaceras de pared serie Y (bolas) ya que estas, a pesar de no soportar cargas muy fuertes ni velocidades muy elevadas, son bastante económicas

y fáciles de montar. Se procederá a evaluar entonces el modelo YAT 204-012, cuyas dimensiones y especificaciones se detallan en la Figura 3.14.

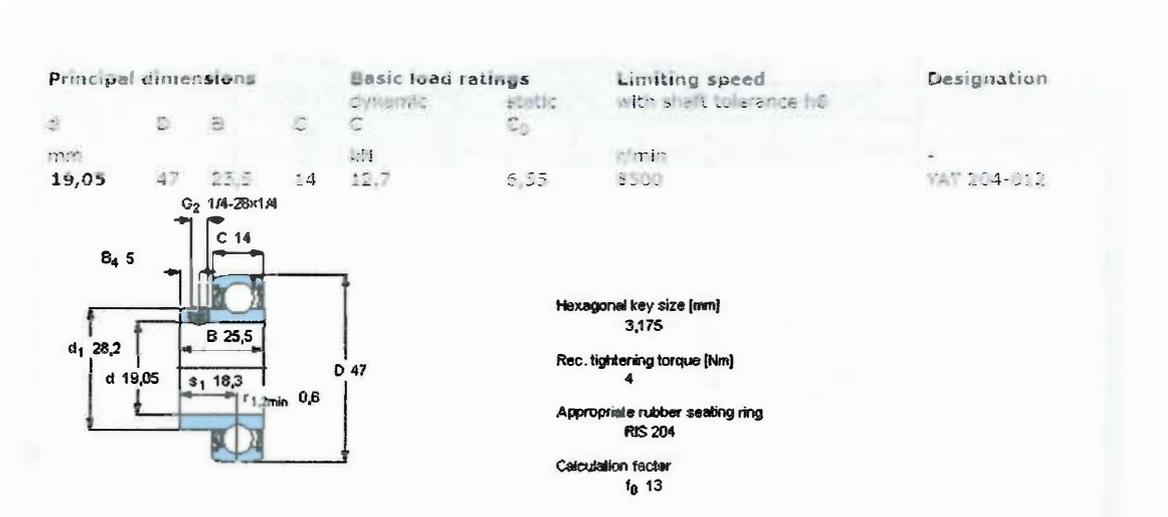


Figura 3.14 Rodamiento de bolas modelo YAT 204-012 (SKF) (16)

Con esto:

$$v_1 = K * \frac{4500}{\sqrt{n * dm}} \quad (3.35)$$

$$dm = \frac{D + d}{2} = \frac{47 + 19,05}{2} = 33,03 \text{ mm} \quad (3.36)$$

$$K = \frac{1000^{1/3}}{n} = \frac{1000^{1/3}}{30} = 3,2 \quad (3.37)$$

Entonces:

$$v_1 = 3,2 * \frac{4500}{\sqrt{30 * 33,03}} = 457,5 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

La viscosidad cinemática ν , por su parte, se extraerá de la Tabla 3.13 para un aceite ISO VG 70 y a una temperatura de trabajo estimada de 40°C, con lo cual:

$$\nu = 70 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

$$k = \frac{70}{457,5} = 0,15$$

Tabla 3.13 Viscosidad cinemática ν (mm²/s) (19)

Aceite ISO VG	Viscosidad cinemática ν			
	40°C	60°C	80°C	100°C
16	16	7	-	-
20	20	10	6	-
40	40	18	10	6
70	70	30	13	8,5
90	90	35	19	10
110	110	45	22	13
120	120	50	24	16
400	400	140	52	26

Por lo tanto la vida útil del rodamiento queda como sigue:

$$L_{na} = \left(\frac{12700}{61,4}\right)^3 * 0,62 * 0,135 = 740681 \text{ millones de ciclos}$$

Con lo que se verifica que este rodamiento tendrá una vida útil prolongada para las solicitaciones mecánicas a las cuales estará sometido.

3.4 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

Un dato esencial para el cálculo del sistema de bombeo es el consumo de agua, el cual debería ser determinado experimentalmente. Esto no se puede hacer hasta tener la máquina ya construida, por lo cual se asumirá un valor referencial a partir de los consumos de máquinas de similares características. Se considerará también una pérdida máxima de 10 litros por hora de cada uno de los tanques ya sea por evaporación, salpicadura fuera de los tanques o porque el botellón se lo llevará consigo. Existirán dos formas de hacer el recambio de los tanques:

- Con una periodicidad establecida de, por ejemplo, cada 4 horas de trabajo.
- Continua y regulada mediante sensores de nivel y electroválvulas.

Se tomará la primera para evitar un encendido y apagado continuo de las bombas que puede ir en detrimento de su vida útil y para garantizar que se tiene agua totalmente limpia cada cierto tiempo establecido. El periodo de 4 horas antes de un cambio de agua se tomó pensando en un turno de trabajo típico de 8 horas, con un descanso de una hora para almorzar, lo cual dará el tiempo necesario para el cambio de agua y el calentamiento de la misma.

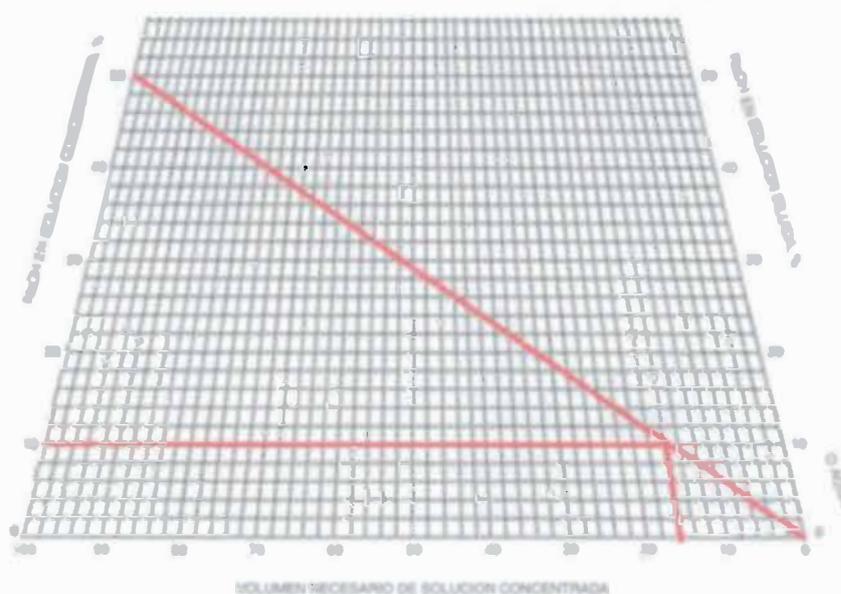
La sosa cáustica se comercializa en concentraciones al 50%, la cual se rebajará hasta un 10% para su almacenamiento en el tanque contiguo a la máquina mediante la mezcla con agua. La relación necesaria se extraerá con la ayuda de la Tabla 3.14 y las ecuaciones siguientes:

$$\frac{84 \text{ m}^3 \text{ de agua}}{16 \text{ m}^3 \text{ al } 50\%} = \frac{1 \text{ m}^3 \text{ de agua}}{x \text{ m}^3 \text{ de } 50\%}$$

$$x = \frac{1 * 16}{84} = 0,19 \text{ m}^3 = 190 \text{ litros}$$

Con lo cual, para obtener una solución de sosa al 10% a partir de agua pura y sosa al 50% se requerirán 190 litros de solución por cada metro cúbico de agua pura.

Tabla 3.14 Tabla para dilución de soda cáustica al 10% (20)



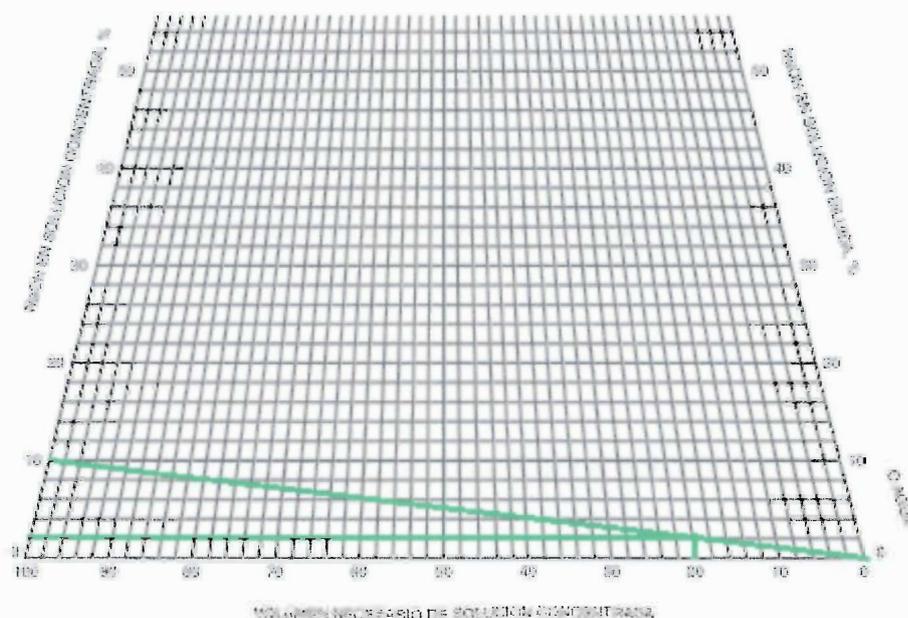
Para llevar esta concentración al 2% requerido dentro de los tanques de lavado se procederá de la misma manera con la ayuda de la Tabla 3.15 y las siguientes ecuaciones:

$$\frac{80 \text{ m}^3 \text{ de agua}}{20 \text{ m}^3 \text{ al } 10\%} = \frac{150 \text{ l de agua}}{x \text{ l de } 10\%}$$

$$x = \frac{150 * 20}{80} = 37,5 \text{ litros}$$

Con esto obtenemos un total de 187,5 litros de solución al 2%, lo cual ocupará aproximadamente el 90% del volumen del tanque, evitando así cualquier rebalse del mismo. Esta mezcla se realizará directamente en los tanques de recuperación por lo cual el volumen total de sosa al 10% a bombear será de 75 litros, 37,5 litros para cada tanque. Con esto además se halla que el consumo de sosa al 50% es de 120 litros por jornada de trabajo (8 horas) y el de agua es de 630 litros para los tanques de lavado y 760 para los tanques de enjuague (total de 1390 litros por jornada de trabajo).

Tabla 3.15 Tabla para dilución de soda cáustica al 2% (20)



Para el almacenamiento de la soda cáustica al 10% se utilizará un tanque de polietileno de 500 litros que se consigue en el mercado local (Catálogo Plastigama). Este estará debidamente sellado y aislado para evitar fugas o cambios bruscos en temperatura que puedan volver inestable a la soda cáustica. Debido a que se trabajará con concentraciones bajas de la misma, estas precauciones serán suficientes para su operación.

A continuación se calculará el tiempo de vaciado de los tanques de recuperación, los cuales dirigirán el líquido para que se reutilice en labores de limpieza de baños o de los pisos de la planta en general.

$$t = \frac{2A_1\sqrt{H}}{CcA_2\sqrt{2g}} \quad (3.38)$$

Donde:

- $A_1 = 0,52 * 0,4 = 0,208 \text{ m}^2$ es el área transversal del tanque.
- $A_2 = \frac{\pi * 26,64^2}{4} = 5,57 * 10^{-4} \text{ m}^2$ es el área del orificio.
- t es el tiempo de vaciado en segundos.
- $H = 0,9 \text{ m}$ es la altura del agua en el tanque.
- $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ es la aceleración de la gravedad.
- $Cc = 0,82$ es el coeficiente de concentración de caudal y velocidad.

Con lo cual se obtendrá:

$$t = \frac{2 * 0,208\sqrt{0,9}}{0,82 * 0,000557\sqrt{2} * 9,81} = 195 \text{ s} \approx 3 \text{ min } 15 \text{ seg}$$

El caudal de salida de un tanque, por lo tanto, estará dado por:

$$Q_{1tanque} = \frac{190 \text{ l}}{195 \text{ s}} = 0,97 \frac{\text{l}}{\text{s}} \approx 1 \frac{\text{l}}{\text{s}} \quad (3.38)$$

$$V_{salida} = \frac{0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{5,57 \times 10^{-4} \text{m}^2} = 1,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (3.39)$$

Si se quiere que el vaciado dure menos de 5 minutos, entonces el diámetro de la tubería colectora deberá ser tal que no restrinja el flujo combinado de los 4 tanques, por lo tanto se debe garantizar una velocidad de aproximadamente $1,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

$$Q_{tot} = \frac{190 \text{ l} * 5 \text{ tanques}}{5 \text{ minutos}} = 3,17 \frac{\text{l}}{\text{s}} \quad (3.40)$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{Q_{tot}}{V} \quad (3.41)$$

$$\rightarrow D = \sqrt{\frac{3,17 * 10^{-3}}{1,8} * \frac{4}{\pi}} = 47,35 \text{mm} \quad (3.42)$$

Con esto se demuestra que el tiempo de vaciado del tanque será menor a 5 minutos para una tubería de 1,5". La disposición de la tuberías de drenado recién calculadas, junto a las de recirculación se esquematizan en la Figura 3.16

El llenado de los tanques de recuperación se realizará con la ayuda de sensores de nivel y electroválvulas, con lo cual se garantizará que el tanque de enjuague inicial y final se llenen con 190 litros de agua (90% de su capacidad total) y que los tanques de lavado se llenen con 150 litros de agua y 37,5 litros de solución al 10%. Esto puede ser posteriormente modificado según la exigencia de limpieza que se requiera y haciendo pruebas para confirmar los niveles de limpieza que se pueden alcanzar con este sistema. El tanque de sosa al 10% tendrá un volumen de 330 litros por lo cual podrá abastecer de solución en 4 oportunidades antes de necesitar ser

llenado nuevamente. Es decir, el tanque deberá ser cambiado al menos una vez cada dos días (asumiendo una frecuencia de trabajo de 8 horas por día).

El requerimiento de agua para los tanques de recuperación será de 685 litros por lo cual se utilizará un tanque para agua Rotoplas de 1000 litros como se muestra en la Figura 3.15:

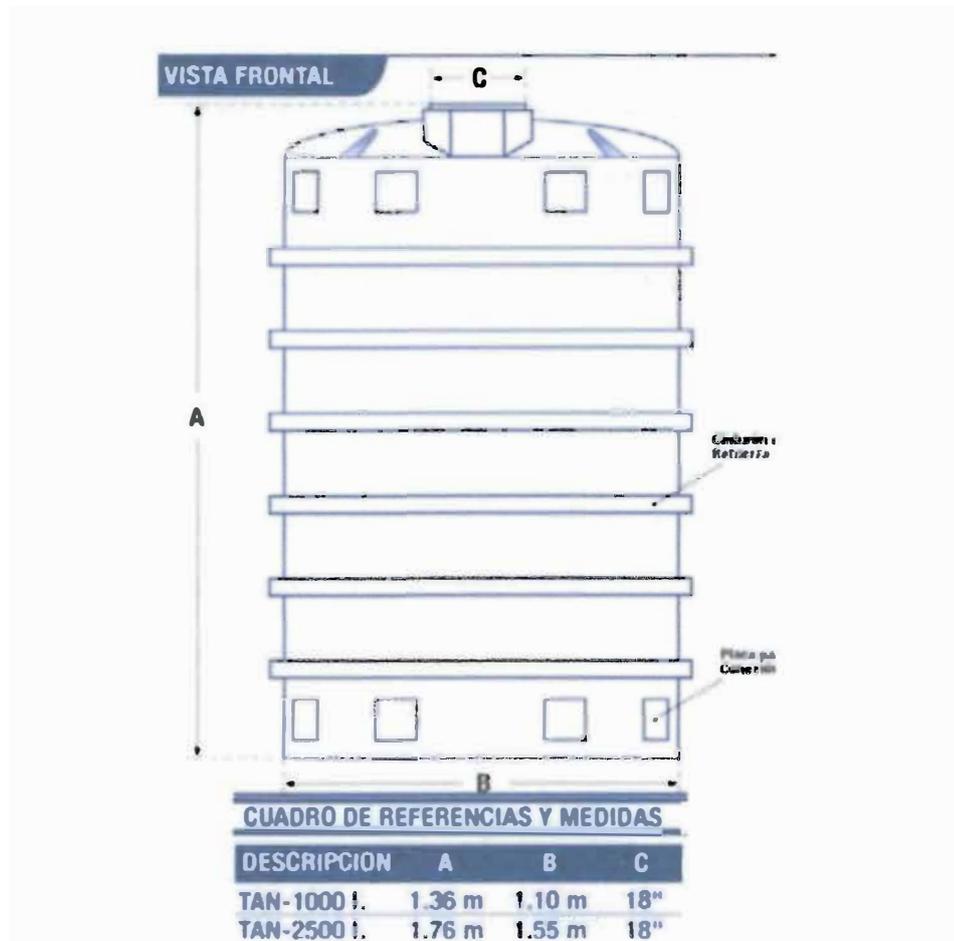


Figura 3.15 Tanque de agua – Catálogo Rotoplas (21)

Se quiere que el llenado de los tanques de recuperación sea también menor a 5 minutos, por lo cual se necesitará un caudal total de:

$$Q = \frac{190 \text{ l}}{5 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * 4 \text{ tanques} = 2,53 \frac{\text{l}}{\text{s}} \approx 9120 \frac{\text{l}}{\text{h}} \quad (3.43)$$

Para seleccionar una bomba apropiada para esta exigencia el único requerimiento determinante será el del caudal, ya que se bombeará agua limpia, no necesitará de un arranque intermitente,

la presión de salida será atmosférica y la diferencia de altura a la cual se elevará será despreciable.

Por recomendación y seguridad, se debe agregar la solución de sosa cáustica en agua con agitación constante para su apropiada dilución. Además se tiene que agregar siempre la solución concentrada al tanque con agua y no al contrario. Para evitar adicionar dispositivos de agitación, se agregará la solución al 10% al mismo tiempo que se bombea agua a los tanques, pasados dos minutos después del inicio de bombeo de agua para satisfacer así la segunda condición.

El flujo de solución al 10% será entonces bombeado en los 3 minutos restantes:

$$Q = \frac{75 \text{ l}}{3 \text{ min}} = 1500 \frac{\text{l}}{\text{h}} \quad (3.44)$$

Con esto, el vaciado y llenado de los tanques de recuperación se dará en menos de 10 minutos, quedando 50 minutos para elevar la temperatura de la solución al 2% en 25°. Para esto se utilizarán resistencias eléctricas

$$W = \frac{mC_p\Delta T}{t} \quad (3.45)$$

Donde:

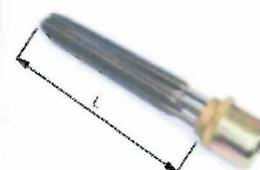
- W es la potencia requerida para calentar el agua (kW).
- $m = 190 \text{ kg}$ es la masa que se quiere calentar.
- $C_p = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ es el calor específico del agua.
- $\Delta T = 25 \text{ K}$ delta de temperatura requerida.
- $t = 50 \text{ min} = 3000 \text{ s}$ tiempo en el cual se calentará el fluido.

$$W = \frac{190 * 4,18 * 25}{3000} = 6,62 \text{ kW}$$

La potencia teórica requerida será entonces de 6,62kW, pero para considerar pérdidas al ambiente se utilizará un juego de resistencias con una potencia combinada de 8,1kW y serán seleccionadas del catálogo de resistencias Salvador Escoda. Una de las resistencias será de 5,4kW, la cual estará encendida durante los 50 minutos dispuestos para calentar el agua repuesta, mientras que la otra podrá encenderse también durante el proceso de lavado para mantener la temperatura constante dentro del tanque. Las características de las resistencias se detallan en la Tabla 3.16:

Tabla 3.16 Calefactor con tapón de acoplamiento, forma 3U con doble vuelta (22)

Modelo	L en mm	Rosca tapón pulg. GAS	Wattios	W/cm ³	Material tubo
ED105	235	2"	1200	2.2	Inox
ED005	235	2"	3600	6.7	Inox
ED005C	235	2"	3600	6.7	Cu
ED107	345	2"	2700	3.1	Inox
ED007	345	2"	5400	6.3	Inox
ED007C	345	2"	5400	6.3	Cu
ED008	345	2-1/2"	5400	6.3	Inox
ED008C	345	2-1/2"	5400	6.3	Cu



El sistema de control de las resistencias escapa del alcance de la tesis, pero serán operadas automáticamente mediante un termostato que mandará una señal para prender o apagar la resistencia y con ello mantener la temperatura del fluido lo más constante posible.

Con los caudales ya obtenidos se seleccionan entonces las bombas que se utilizarán. Se deben seleccionar seis, cuatro de las cuales se encargarán de recircular el agua en los tanques de recuperación hacia los eyectores, una se encargará de suministrar el agua de recambio a los tanques cuando el fluido contenido por estos cumpla un determinado número de ciclos para los cuales la suciedad en el agua no sea más aceptable para un correcto proceso de lavado y la última suministrará la solución de sosa cáustica al 10% a los tanques de recuperación.

Las temperaturas del fluido variarán de tanque a tanque ya que en los dos procesos de lavado en los cuales se utilizará sosa cáustica se utilizarán resistencias eléctricas, elevando la temperatura de esta solución a 40°C. Los tanques restantes operarán con agua a temperatura ambiente que se asumirá 15°C. Todas las consideraciones y datos con los que se parte inicialmente se muestran en la Tabla 3.17, donde se llamará bomba 1 y 4 a las que trabajarán en el pre-enjuague y enjuague final; bomba 2 y 3 son las que trabajarán en los procesos de lavado con fluido a 40°C; la bomba 6 será la utilizada para el agua de recambio y la bomba 5 trabajará con la solución al 10%. La disposición de las bombas mencionadas, las tuberías y los tanques se pueden apreciar en la Figura 3.16:

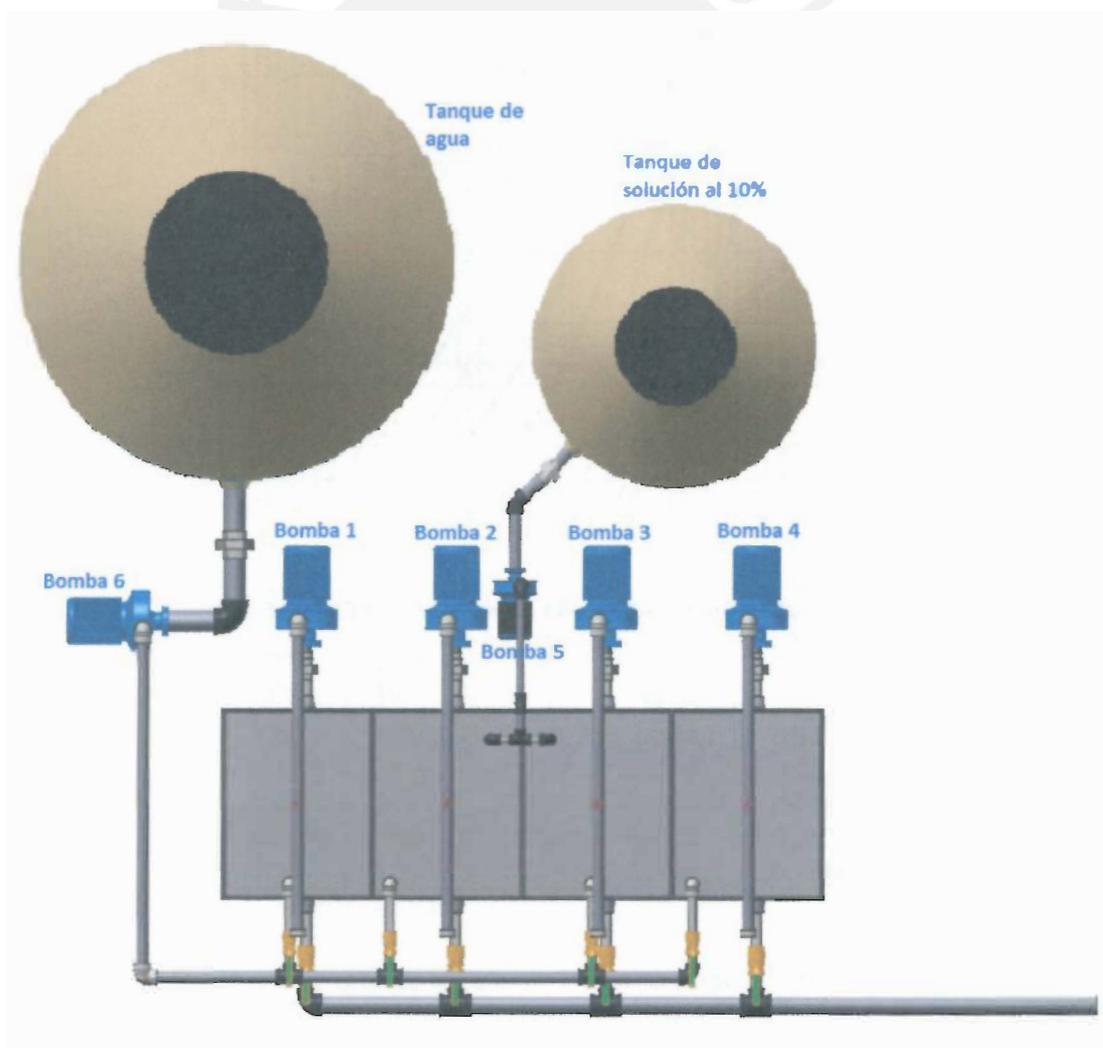


Figura 3.16 Distribución del sistema de bombeo

Tabla 3.17 Dato para el cálculo de bombas

	ΔZ (m)	Presión de salida (bar)	Rugosidad e (mm)	Long. tubería de succión (m)	Long. tubería de descarga (m)	Densidad (kg/m ³)	Temperatura °C	Viscosidad Cinemática ν (m ² /s)
Bomba 1 y 4	0,4	4	0,1	0,2	1,5	998	15	0,000001
Bomba 2 y 3	0,4	4	0,1	0,2	1,5	992	40	0,00000658
Bomba 5	0,9	1	0,1	0,32	1,6	1104	30	0,000002
Bomba 6	0,9	1	0,1	0,75	3,4	998	15	0,000001

El valor de viscosidad para la solución de sosa al 10% se extraerá de la Tabla 3.18, mientras que el valor de densidad se extraerá de la Tabla 3.19:

Tabla 3.18 Viscosidad según concentración de soda cáustica (20)

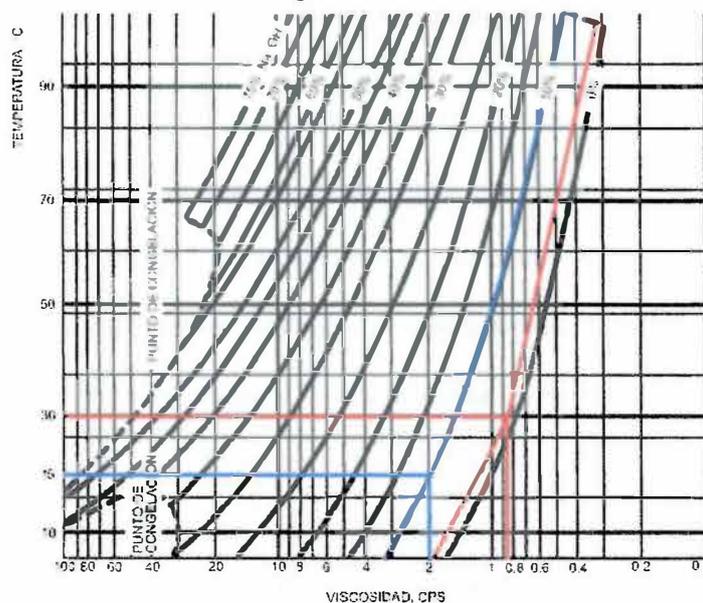


Tabla 3.19 Densidades de soluciones de soda cáustica a varias temperaturas (20)

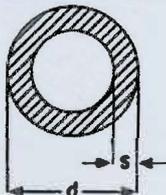
% NaOH	32°F 0°C	50°F 10°C	86°F 30°C	104°F 40°C	122°F 50°C	158°F 70°C
2	1.024	1.023	1.018	1.014	1.010	0.999
4	1.048	1.046	1.039	1.035	1.031	1.020
6	1.071	1.068	1.061	1.056	1.052	1.041
8	1.094	1.091	1.083	1.078	1.073	1.062
10	1.117	1.113	1.104	1.100	1.094	1.083

Para el cálculo de bombas se empezó calculando los H_{man} estático y dinámico y se asumió, para las bombas 2 y 3, que se estaba trabajando con agua pura (ya que la concentración del 2% de sosa no cambiará las propiedades del agua de manera significativa). La presión de salida

necesaria para un correcto lavado es de aproximadamente 4 bar y se consultó en el catálogo de la empresa Veejet para boquillas de aspersión de 0° (chorro sólido para 3bar, con lo cual a los 4 bar con los que se va a trabajar existirá un pequeño ángulo de aspersión que ayudará a cubrir todo el interior del botellón) y se seleccionaron las boquillas con una capacidad de hasta 68 litros por minuto, suficiente para soportar los 35 litros por minuto recomendados para estos procesos de lavado. En el caso de la bomba para el agua de recambio la presión de salida será la atmosférica y se trabajará con un caudal de 9150 litros por hora que permitirá el llenado del tanque en aproximadamente 5 minutos como se vio anteriormente. Por último, la bomba encargada de la solución de sosa al 10% deberá transportar un caudal de 1500 litros por hora.

Las tuberías fueron seleccionadas según el material a emplear y el límite de velocidad recomendado de 6 m/s, ya que si la velocidad es muy alta podría producir ruidos molestos o exceso de vibraciones. Con esto y del catálogo de la empresa ThyssenKrupp Fortinox S.A. se seleccionaron las tuberías de acero inoxidable TP 304 Schedule 40 según Norma ASTM A312. Los diámetros para el cálculo serán de 1/2" para la bomba 5 y de 1" para el resto por lo cual las velocidades del flujo están en lo permisible como se puede ver en la Tabla 3.22 Los valores de las tuberías seleccionadas se muestran en la Tabla 3.20:

Tabla 3.20 Parámetros de tuberías Sch. 40 (23)

Terminación 2B Decapado y Pasivado Aplicación Conducción Largo estándar: 6000 mm Dimensiones según ANSI B 36.19 y ANSI B 36.18 Peso aprox. kg/mt.	Diámetro ext. (d)		Espesor de Pared (s)							
	Pulgadas	mm	sch 5S	kg./ mt.	sch 10S	kg./ mt.	sch 40S	kg./ mt.	sch 80S	kg./ mt.
	1/8"	10.3				0.280	1.73	0.370		
	1/4"	13.75			1.65	0.510	2.24	0.670	3.02	0.840
	3/8"	17.2			1.65	0.660	2.31	0.880	3.20	1.160
	1/2"	21.5	1.65	0.817	2.11	1.040	2.77	1.330	3.73	1.690
	3/4"	26.6	1.65	1.038	2.11	1.330	2.87	1.750	3.91	2.200
	1"	33.4	1.65	1.317	2.77	2.170	3.38	2.590	4.55	3.350
	1 1/4"	42.2	1.65	1.671	2.77	2.770	3.56	3.500	4.85	4.600
	1 1/2"	48.3	1.65	1.933	2.77	3.200	3.69	4.170	5.08	5.570
	2"	60.3	1.65	2.433	2.77	4.040	3.91	5.590	5.54	7.680
	2 1/2"	73	2.11	3.761	3.05	5.340	5.16	8.860	7.01	11.700
	3"	88.90	2.11	4.578	3.05	6.546	5.49	11.448	7.62	15.510

La velocidad máxima del flujo será de 4,55m/s según:

$$V = \frac{Q}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}} \left(\frac{m}{s} \right) \quad (3.46)$$

Con esto se procedió al cálculo del Reynolds, longitudes equivalentes (según los accesorios para tuberías de 1" como se muestra en la Tabla 3.21) y pérdidas Hw. Todos los resultados se detallan en la Tabla 3.22:

Tabla 3.21 Longitud equivalente para tubería de 1" (m)

Codo radio medio 90°	Té salida lateral	Tanque entrada	Té paso directo	Válvula
0,7	1,7	0,3	0,5	4,6

Tabla 3.22 Tabla de resultados

	Caudal (m3/s)	d (m)	Velocidad V(m/s)	Re	Rugosidad relativa e/D	ξ (Darcy-Weisbach)	Long. Eq. (m)	Hw Darcy-Weisbach (m)
Bomba 1 y 4	0,00058333	0,02664	1,05	27880,01859	0,0038	0,0324	5,1	0,35
Bomba 2 y 3	0,00058333	0,02664	1,05	42370,84891	0,0038	0,0321	5,1	0,34
Bomba 5	0,00041667	0,01596	2,08	16620,20442	0,0063	0,032	5,02	2,23
Bomba 6	0,00253333	0,02664	4,55	121078,9379	0,0038	0,0325	12,65	16,25

Para hallar el coeficiente de Darcy se utilizó la Tabla 3.23, la cual requiere la relación entre rugosidad interna de la tubería (se tomará como 0,1 para agregarle un factor de seguridad) y el diámetro de la misma. Con esto y el número de Reynolds, número adimensional que puede ser hallado a partir de la velocidad media, la viscosidad cinemática del agua y el diámetro de la tubería (se calculó para una pulgada y se verificó que era una medida apropiada para las responder a los requerimientos).

Tabla 3.23 Coeficiente de Darcy

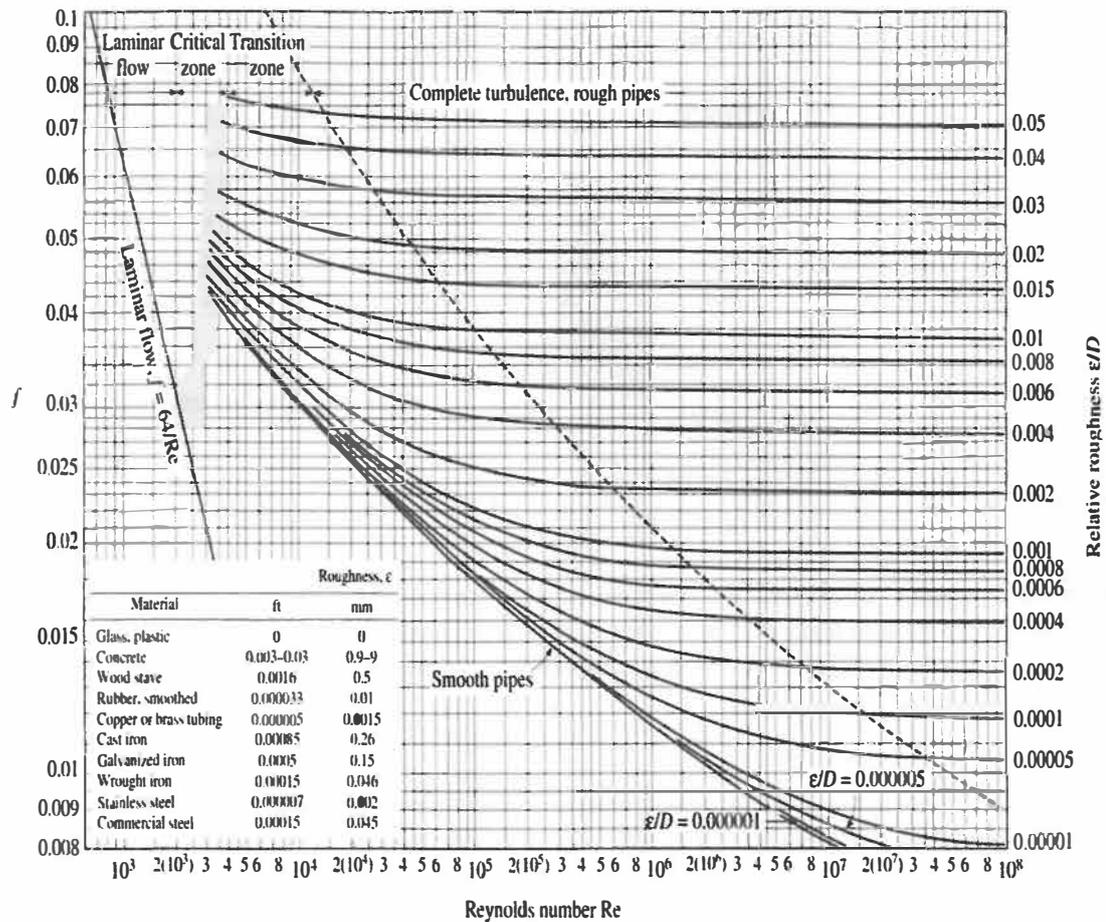


FIGURE A-27

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Obtenido esto, se procedió a calcular la longitud equivalente a partir de la suma de la longitud equivalente por cada uno de los accesorios por los que el fluido tiene que atravesar y la longitud real de las tuberías (se calculó para el más crítico).

Con estos resultados se procedió a calcular los H_{man} estático, dinámico y total, necesario para la posterior selección de las bombas. Los resultados hallados se presentan en la Tabla 3.24:

Tabla 3.24 Tabla de resultados para la selección de bombas

	Hman estático (m)	Hman dinámico (m)	Hman total (m)	HP bomba	HP motor	NPSH sistema
Bomba 1 y 4	41,2	10,2	51,4	0,67	0,87	10,392
Bomba 2 y 3	41,4	10,2	51,6	0,67	0,87	9,878
Bomba 5	9,5	12,1	21,7	0,20	0,26	9,372
Bomba 6	10,5	17,3	27,8	1,57	2,04	9,792

Con estos resultados y de la fórmula:

$$HP_{bomba} = \frac{Q \left(\frac{l}{s}\right) * H(m)}{75 * n(\%)/100} \quad (3.47)$$

De donde Q es el caudal, H la altura manométrica total y n la eficiencia de la bomba (que para los cálculos se tomará 60%), se obtuvo la potencia necesaria para cada una de las bombas. La potencia requerida por el motor eléctrico trifásico por lo general responde a:

$$HP_{motor} = 1,3HP_{bomba} \quad (3.48)$$

Con estos parámetros se seleccionaron cuatro bombas SAER TK5-TR5 de 1 HP de potencia para el lavado de los botellones, una bomba SAER TK1-TR1 de 0,5 HP para la sosa cáustica al 10% (Tabla 3.25) y una bomba SAER 125-B de 3 HP de potencia para alimentar a los tanques con el agua de recambio (Tabla 3.26).

Tabla 3.25 Bombas de serie TK – Catálogo SAER (24)



Tipo	Modelo de Bomba a Utilizar	P Max HP	Calibre de Presión	Medio de Flujo (l/h)	Capacidad del Tanque (l)	Succión	Descarga
TK1-TR1	KF1	0.5	1.3-2.8	1300	24	1" G	1" G
TK2-TR2	KF2	0.75	2-4.2	1900	24	1" G	1" G
TK3-TR3	M60	0.5	1.8-4	1800	24	1" G	1" G
TK4-TR4	M70	0.75	2.4-4.2	2000	24	1" G	1" G
TK5-TR5	M80	1	2-4.4	2100	24	1" G	1" G
TK6-TR6	M150	1.5	4.5-5.3	2250	24/60	1" 1/2 G	1" G

Modelos TK

Tabla 3.26 Bombas Succión 2" Descarga 1 1/4" – Catálogo SAER (24)

3600 RPM



Gasto			Modelo						
			125-B 3HP	125-A 4HP	160-B 5.5HP	160-A 7.5HP	200-NC 12HP	200-NB 15HP	200-NA 20HP
LPS	LPM	GPM	Carga (ft)	Carga (ft)	Carga (ft)	Carga (ft)	Carga (ft)	Carga (ft)	
0.00	0.00	0	102	170	158	174	210	253	297
4.42	264.95	26	98	116	152	169	203	250	295
5.05	302.80	35	94	114	149	167	201	249	294
5.68	340.65	44	89	110	145	164	198	247	293
6.31	378.50	53	83	104	140	160	197	244	292
6.94	416.35	61.5	75	97	135	155	194	241	291
7.57	454.20	70.5	68	89	129	149	190	237	290
8.83	529.90	79	59	80	122	142	182	232	288

Los accesorios utilizados en todos los casos serán roscados de acero inoxidable Serie 150, los cuales soportan una presión de aproximadamente 10 bar, suficiente para los requerimientos de presión de la máquina en todos los casos. Estos vienen normados según ANSI B16.3.

3.5 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

Para empezar, se realizará un análisis estático mediante software de la estructura, tomando en consideración el propio peso, el peso de las planchas de la carcasa (que será transmitido a las 4 vigas principales mediante los tornillos donde van acoplados), el peso del techo (distribuido uniformemente en los 4 parantes), el peso del motor y el sistema de transporte (aplicado en el perfil en L a la altura del soporte de chumacera). Adicionalmente se utiliza un factor de seguridad de 1,5 y se procede a calcular con los valores mostrados en la Tabla 3.27:

Tabla 3.27 Distribución de esfuerzos en la estructura

Elemento	Peso (kg)	Fuerza aplicada (N)	Fuerza*FS	Puntual	Distribuída
Estructura	160	1569.6	2354.4		X
Techo	36	353.16	529.74	X	
Motorreductor	6	58.86	88.29		X
Sistema de transporte	30	294.3	441.45	X	X

El software entonces nos da como resultado que el perfil que sufre mayor deformación es el perfil L inferior del lado opuesto al motorreductor, como se puede apreciar en la Figura 3.17. Así mismo se ve que la flecha máxima en este caso es de menos de medio milímetro, por lo tanto no habrá ningún problema durante la operación del mismo.

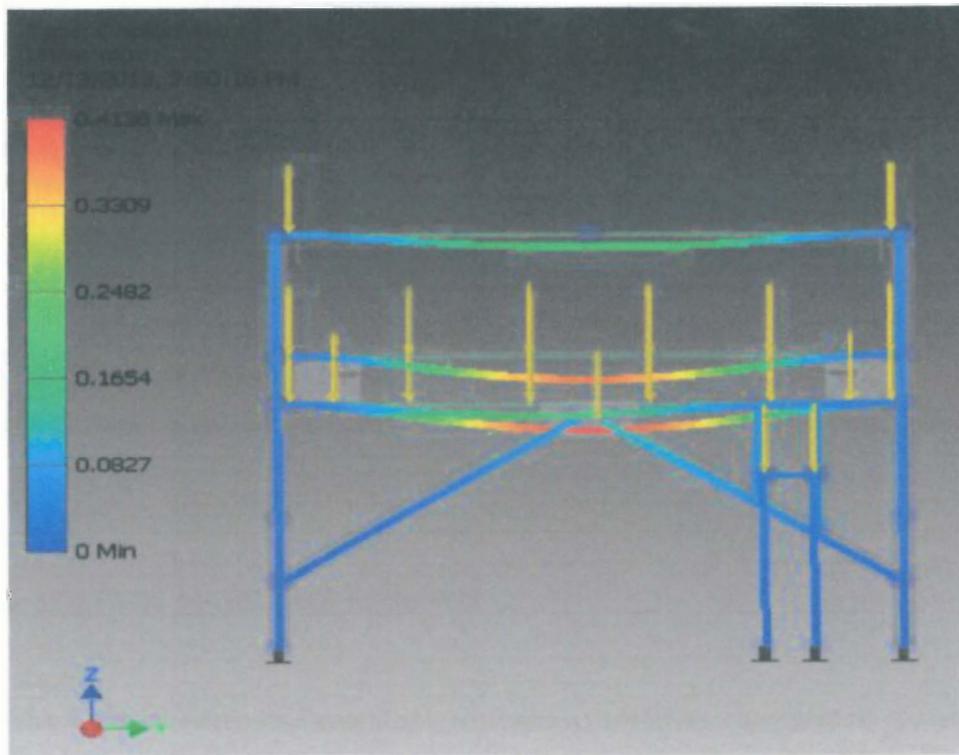
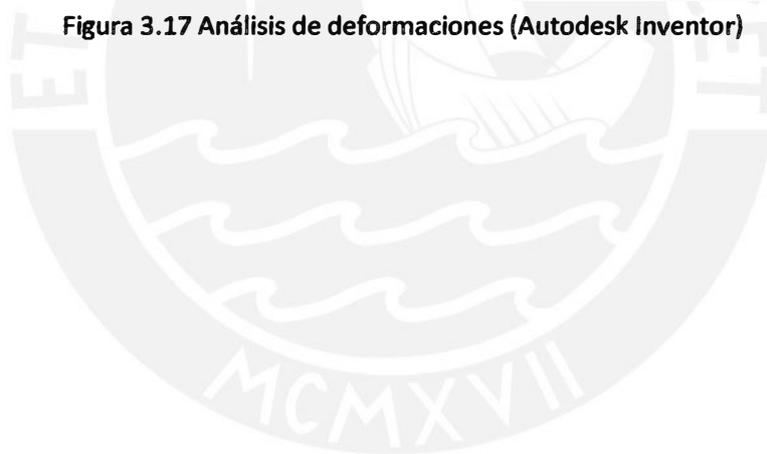


Figura 3.17 Análisis de deformaciones (Autodesk Inventor)



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTOS

El objetivo de este capítulo es estimar un monto total de la fabricación de la máquina lavadora de botellones, tomando en cuenta para esto los costos de materiales, equipos y fabricación. Se estimará también el costo diario de operación de la máquina para tener como referencia el costo estimado por botellón lavado. A continuación se presentan entonces los principales costos del proyecto expresados en dólares norteamericanos incluyendo el IGV (impuesto general a las ventas).

4.1. COSTO DE MATERIALES Y EQUIPOS

En la Tabla 4.1 se muestran los elementos estructurales y planchas requeridas sin contemplar la mano de obra y utensilios necesarios, los cuales serán mostrados posteriormente en un cuadro independiente. Todos los canales, ángulos, platinas y el eje serán de acero A36 que posteriormente se le realizará un arenado y galvanizado para protegerlo contra el óxido. Se descartó el uso de pintura epóxica para este recubrimiento ya que esta no es muy resistente a la soda cáustica y se pelará con facilidad.

Tabla 4.1 Estructura, techo y tanque de recuperación

Item	Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Canal U 3x4.1"	16m	6,1	97,6
2	L 1x1x1/8"	20m	3,5	70
3	Platina 2x3/16"	3.5m	4	14
4	Eje Ø3/4"	1m	8,2	8,2
5	Plancha acero A36 espesor varios	-	-	35
6	Plancha Inox 316-2m x 3m x 3mm"	2	190	380
7	Plancha Inox 316-2m x 1.5 x 1/4"	1	215	215
8	Plancha Inox 316-2m x 3m x 3/16"	1	280	280
Subtotal				1099,8

En la tabla 4.2 se muestra el costo de las bombas utilizadas para el proceso de lavado y el motorreductor encargado del sistema de transporte:

Tabla 4.2 Costo de equipos

Item	Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Bomba Centrífuga SAER 3HP	1	1060	1060
2	Bomba Centrífuga SAER 0.5HP	1	320	320
3	Bomba Centrífuga SAER 1HP	4	410	1640
4	Motorreductor SEW	1	380	380
Subtotal				3400

Todos los accesorios del sistema de bombeo mostrados en la Tabla 4.3, así como la pernería que se muestra en la Tabla 4.4, se asumen de acero inoxidable 304 a menos que se especifique lo contrario.

Tabla 4.3 Tubería y accesorios

Item	Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Nipple $\varnothing 1/2" \times 2"$	6	3,4	20,4
2	Nipple $\varnothing 1/2" \times 3"$	1	4,68	4,68
3	Nipple $\varnothing 3/4" \times 5"$	4	8,84	35,36
4	Nipple $\varnothing 1" \times 7"$	1	15,93	15,93
5	Nipple $\varnothing 1" \times 2.5"$	4	6,24	24,96
6	Nipple $\varnothing 1" \times 5"$	4	11,74	46,96
7	Nipple $\varnothing 1" \times 2"$	4	5,24	20,96
8	Nipple $\varnothing 1" \times 3"$	6	7,19	43,14
9	Nipple $\varnothing 2" \times 6"$	3	26,22	78,66
10	Válvula de bola 1" 316	4	74,19	296,76
11	Válvula de bola $\varnothing 3/4"$ 316	4	43	172
12	Tapón hembra $\varnothing 1"$	4	3,68	14,72
13	Tee $\varnothing 1/2"$	1	4,4	4,4
14	Tee reductor 1"-3/4"	3	22,6	67,8
15	Tee reductora 1.5x1.5x1"	3	34	102
16	Codo reductor 90° 1"-3/4"	1	8,2	8,2
17	Codo reductor 90° 1"-1/2"	1	9,5	9,5
18	Codo 90° $\varnothing 1/2"$	4	3,28	13,12
19	Codo 90° $\varnothing 1"$	6	6,53	39,18
20	Codo 90° $\varnothing 2"$	1	16,45	16,45
21	Codo 45° $\varnothing 1"$	1	6,75	6,75
22	Reductor 1.25"-1"	1	10	10
23	Unión universal $\varnothing 2"$	1	48,6	48,6
24	Unión universal 1"	5	16,28	81,4
25	Boquilla de aspersión Veejet $\varnothing 1/2$ 316	4	17,3	69,2
26	Tubo 1/2" Sch 40 A312	1m	14,7	14,7
27	Tubo 1.5" Sch 40 A312	2m	48,6	97,2
28	Tubo 1" Sch 40 A312	11m	34,6	380,6
Subtotal				1743,63

Tabla 4.4 Pernería

Item	Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Perno de anclaje M12x160mm A307	20	8	160
2	Arandela plana M12 304	20	0,25	5
3	Tuerca M12	44	0,7	30,8
4	Tuerca M8	16	0,3	4,8
5	Perno cabeza redonda allen M8x20	6	0,9	5,4
6	Perno abridado M10x40mm	4	1,2	4,8
7	Tuerca M10	4	0,55	2,2
8	Perno cabeza redonda allen M8x16	20	0,85	17
9	Perno abridado M12x40mm A36	16	4	64
10	Perno cabeza redonda allen M6x16	6	0,8	4,8
11	Tuerca M6	6	0,6	3,6
12	Arandela plana M6	100	0,3	30
13	Perno cabeza hexagonal M6x30mm	100	0,8	80
14	Tornillo avellanado M5x20	40	0,25	10
Subtotal				422,4

La Tabla 4.5 detalla el precio de los elementos en el sistema de transporte, tanto de la propia máquina, como de los rodillos transportadores.

Tabla 4.5 Sistema de transporte

Item	Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Eje 1"x2m	1	85	85
2	Rodamiento de bolas SKF	4	38	152
3	Sprocket Uni chains	4	26	104
4	Sprocket de transmisión SKF	2	30	60
5	Platina para fabricar chaveta	5	4	20
6	Rodillo transportador Interroll	50	13	650
7	PEAD para bandeja porta botallones	10	6	60
8	PEAD para porta botellones	10	5	50
9	Nylon para enganche portabotellones	40	4	160
10	Eslabón Uni 831-K250 (Caja)	20	20	400
11	Nylon para pieza de desgaste	20	4	80
Subtotal				1821

Por último, la Tabla 4.6 es una tabla resumen que muestra los montos parciales así como el monto total en materiales, equipos y demás:

Tabla 4.6 Tabla resumen

Descripción	Precio (\$)
Estructura, carcasa, techo y tanque de recuperación	1099,8
Costo de equipos	3400,0
Tubería y accesorios	1743,6
Pernería	422,4
Sistema de transporte	1821,0
Total	8486,8

4.2. COSTO DE FABRICACIÓN Y OPERACIÓN

A continuación se presentarán los costos y procesos de fabricación de cada una de las piezas, así como los tiempos estimados para los mismos (en horas). Para esto, utilizaré los datos de la Tabla 4.7, que presenta costos/hora aproximados para cada uno de los procesos a llevar a cabo. Este monto incluye los materiales utilizados en el ejercicio de fabricación como son cuchillas, hora-máquina, electrodos para soldadura, etc. El costo de arenado y galvanizado para la protección de las estructura ante la corrosión se calculará mediante el peso de lo que se quiere proteger, en este caso, 160kg para la estructura principal y 60kg para la estructura de rodillos. El costo de galvanizado es de S/.1,95/kg y el de arenado S/.1,7/kg, por lo cual el costo total será de S/.803.

Tabla 4.7 Costos por proceso de los procesos de fabricación

Proceso	Costo(S./)/ Hora
Calderería	10
Taladrado	15
Torno	20
Fresado	35
Soldadura	15

En las siguientes tablas se mostrarán los procesos y costos de los elementos fabricados principalmente por soldadura como son la estructura de rodillos que recepciona los botellones lavados (Tabla 4.8), la estructura principal de la máquina (Tabla 4.9) y el tanque de agua (Tabla 4.10).

Se considerará además que la tarifa rige incluso cuando la operación realizada por el operario no sea exclusivamente la de soldado durante todo el periodo, ya que antes de esto existe toda una preparación de la pieza como es el armado o habilitado de la misma.

Tabla 4.8 Estructura de rodillos

Procesos	Horas
Corte	5
Trazado y agujereado	6
Armado	8
Acabado	1
Soldado	5
Acabado final	1
Horas totales	26
Costo total S/.	390

Tabla 4.9 Estructura principal

Procesos	Horas
Corte y habilitado	20
Bases	2
Soporte de chumaceras	6
Armado (2 personas)	16
Soldado	8
Acabado	2
Horas totales	68
Costo total S/.	1020

Tabla 4.10 Tanque de agua

Procesos	Horas
Corte y agujereado	8
Doblado y armado	12
Soldadura	8
Enderezado general	6
Acabado final	6
Horas totales	40
Costo total S/.	600

Las piezas para los demás procesos de fabricación se presentan en la Tabla 4.11 y se tiene un compendio total del costo total de fabricación incluidos materiales en la Tabla 4.12.

Tabla 4.11 Otros elementos a fabricar

Descripción	Proceso	Cantidad de piezas	Horas total	Costo total (S/.)
Pieza de desgaste	Taladrado	20	25,0	375
Enganche portabotellones	Torno	40	30,0	600
Eslabon	Taladrado	20	20,0	300
Techo	Calderería	1	1,0	10
Bandeja portabotellones	Calderería	10	40,0	400
Portabotellones	Torno	10	15,0	300
Eje Conductor	Torno	1	10,0	200
	Fresado		2,0	30
Eje Conducido	Torno	1	8,0	160
	Fresado		1,5	52,5
Costo total S/.				2427,5

Tabla 4.12 Resumen de costo total de fabricación y materiales

Descripción	S/.	\$
Costo de Materiales y Equipos	23763	8486,8
Costo de fabricación	5240,5	1871,6
Total	29003,5	10358,4

Además se tiene como dato que los precios de máquinas con características similares tienen precios que empiezan en los \$13 000 y pueden llegar hasta los \$20 000. Además, se tiene que tener en cuenta los costos de importación de la misma, por lo cual el precio hallado, aún adicionándole el costo por instalación, no superaría este monto de \$13 000.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

- Se recomienda, en el momento del ensamblaje, prestar una atención especial a la distancia entre ejes del sistema de transporte, ya que esto influirá en la correcta alineación de los botellones con las boquillas de aspersión.
- Se debe considerar el método de reciclado de la solución agua-soda cáustica para la limpieza general de la planta. Esta estará en concentraciones bastante bajas ya que se combinarán los dos tanques de agua con los dos tanques de agua-soda cáustica al 2%.
- Los operarios encargados de la máquina deben tener los elementos de seguridad adecuados para prevenir cualquier imprevisto debido al contacto cercano con la soda cáustica en caso de fuga o algún desperfecto con las conexiones.
- El operario encargado de colocar los botellones en la máquina, así como el encargado de la correcta recepción de las mismas en la estructura de rodillos transportadores, deberían alternar funciones cada cierto tiempo para descansar del movimiento repetitivo que demanda uno u otra tarea.
- Se deberá realizar pruebas de lavado para verificar la concentración óptima de soda cáustica que se debe utilizar en el proceso de lavado.

CONCLUSIONES:

- El presente diseño cumple con el objetivo de presentar una máquina lavadora de botellones para capacidades medianas (250 botellones por hora).
- Respecto a la fabricación, el montaje y la adquisición de materiales y equipos, se ha garantizado que esto sea realizable con proveedores o talleres presentes en el mercado local.
- Se planteó un sistema de lavado sencillo y con parámetros fácilmente regulables, como son la concentración de soda cáustica en los tanques de lavado, que pueden ser alterados según se requiera.
- Se pensó en la línea de producción que sigue el lavado y envasado de botellones, para lo cual se consideró la estructura de rodillos como un empalme fácilmente adaptable entre la línea de lavado y la zona de llenado de los botellones.
- En el diseño de la máquina se tomó en consideración la accesibilidad a todas las partes de la misma para un correcto mantenimiento y limpieza general. Esto se realizará removiendo la plancha de acero inoxidable que recubre la máquina en el lado opuesto al motorreductor.
- El costo de fabricación alcanzado de la máquina no supera los \$13 000, con lo cual se cumple con el requerimiento de ser una máquina accesible para el mercado local. Adicionalmente, al ser un producto que se puede fabricar en su totalidad con elementos encontrados en el mercado local, no se incurrirán en costos extra de importación o similares.

Lista de planos

Número de plano	Código	Descripción
1	1 -EA0	Vista general
2	2 -EA0	Lavadora ensamble
3	3 -DA1	Estructura ensamble
4	4 -DA2	Eje conducido
5	5 -DA2	Eje conductor
6	6 -EA2	Ensamble Portabotellones
7	7 -DA2	Estructura para rodillos
8	8 -EA2	Ensamble de taque de lavado
9	9 -DA3	Bandeja porta botellones
10	10 -DA3	Plancha carcasa 1
11	11 -DA3	Plancha carcasa 2
12	12 -EA3	Rodillos transportadores ensamble
13	13 -DA3	Tanque de agua de lavado
14	14 -DA3	Techo
15	15 -DA4	Ventana de acrílico
16	16 -DA4	Pieza de desgaste
17	17 -DA4	Enganche portabotellones
18	18 -DA4	Eslabón UNI 831-K325
19	19 -DA4	Placa Motorreductor
20	20 -DA4	Plancha carcasa 3
21	21 -DA4	Portabotellones
22	22 -EA3	Detalles N y O (lavadora ensamble)

Bibliografía

1. **Philip M. Parker, Ph. D**
2009 *The 2009 Import and Export Market for Machinery for Cleaning or Drying Bottles or Other Containers in Latin America. Francia 2009*

2. **Holler Verand, Federico E.**
1979 *Diseño de una máquina lavadora de botellas. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Mecánica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería*

3. **Urquiza, José Valdivia**
2011 *Lavadora de botellas. Documento de trabajo. Cusco*

4. **CapSnap Equipment.**
2008 *CapSnap PortaPlant Expandable Water Bottling Systems. Midbrook. Consulta 12/10/2013*
<<http://www.capsnapequipment.com/index.php/capsnapequipment>>

5. **Taylor & Francis Ltd.**
1999 *Quality and safety aspects of reusable plastic food packaging materials: A European study to underpin future legislation. Zeist, Holanda.*

6. **Aguirre Dugua, Maribel**
2002 *Un México apropiado para la infancia y la adolescencia. Programa de Acción 2002-2010 Primera edición. Consulta 08/05/2012*
<http://www.oei.es/inicial/politica/bienestar_ninas_ninos_mexico.pdf>

7. **Renold**
2013 *Conveyor chain designer guide. Consulta 20/09/2013*
<http://www.renold.com/upload/renoldswitzerland/Conveyor_Chain_-_Designer_Guide.pdf>

8. **Uni Chains**
2002 *Uni-Chains Conveyor Chains. Catálogo. Consulta 10/09/2013*
<<http://www.primacsapagy.hu/documents/szallitolancok-angol.pdf>>

9. **Habonim**
2008
Chemical Compatibility Guide. Consulta: 12/10/2013
<http://www.habonim.com/pdf/engineering/CORROSION_TABL E.pdf>
10. **Orellana Ruiz, Miguel**
A.
Diseño de ejes. Material de enseñanza. Lima : Facultad Nacional de Ingeniería.
11. **MEADInfo**
Keyway and Key details. Extracto de DIN 6885/1. Consulta 15/11/2013 <<http://www.meadinfo.org/2009/05/din-6885-1-key-hub-keyway-shaft-keyway.html>>
12. **Mecapedia**
Normas DIN 6885, 6886, 6887, 6883, 6884, 6881, 6889. Consulta: 15/11/2013
<<http://www.mecapedia.uji.es/chaveta.nor.htm>>
13. **Bio Light**
2010
Tratamiento del agua para envasado. Santiago de Chile. Consulta: 06/04/2013
<<http://www.biolight.cl/index.php/documentos-tecnicos/summary/5-documentos-tecnicos/52-tratamiento-del-agua-para-ensado>>
14. **Yuh Feng**
Glass Bottle Washer. Consulta: 12/10/2012
<http://yuhfeng.en.alibaba.com/product/514637835-213128029/Glass_Bottle_Washer.html>
15. **Zysko Bottles Washer**
2010
Lavadora de envases de policarbonato. Consulta: 03/10/2012.
<<http://www.zysko.com/esp/productos/detalle.php?productID=61&cotegorialD=17>>
16. **Renold**
Consulta: 12/09/2013 <<http://www.renold.com>>
17. **SKF**
Consulta: 27/05/2013
<<http://www.skf.com/pe/services/index.html>>

18. **V. Badiola**
2004
Cargas Variables. Dpto Ing. Mecánica, energética y de materiales. Consultado: 16/10/13
<http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/asig_naturas/maquinas-iti/Apunteak/Cap4.pdf>
19. **Eurodrive, SEW**
2010
Helical geared motors. Catálogo.
20. **Jiménez Mora, Jesús**
2008
Selección de cojinetes de rodamientos. Documento de trabajo.
21. **DOW**
2010
Manual de solución de soda cáustica. Consulta: 08/08/2013
<http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_003e/0901b8038003eb24.pdf?filepath=causticsoda/pdfs/noreg/102-00422.pdf&fromPage=GetDoc>
22. **Rotoplas**
2013
Tanques de almacenamiento. Catálogo. Consulta: 20/08/2013
<<http://rotoplas.com/productos/almacenamiento/tanques-para-agua/quimicos/>>
23. **Escoda, Salvador**
2010
Catálogo técnico y tarifa de precios de resistencias eléctricas. Catálogo. Consulta 20/10/2013
<http://www.salvadorescoda.com/tecnico/RA/Catalogo_Tarifa_Resistencias_Electricas_NOV2012.pdf>
24. **ThyssenKrupp Fortinox S.A.**
Aceros inoxidables. Guía de productos. Consulta: 20/08/2013
<<http://www.fortinox.com/productos.html>>
25. **Empresas Suárez S.A.**
2013
Bombas centrífugas. Catálogo. Lima