

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La dureza en el agua es causada principalmente por la presencia de iones de calcio y magnesio; algunos otros cationes divalentes también contribuyen a la dureza, por ejemplo, el estroncio, hierro y manganeso, pero en menor grado ya que generalmente están contenidos en pequeñas cantidades.

La dureza la adquiere el agua a su paso a través de las formaciones de roca que contienen los elementos que la producen. El poder solvente lo adquiere el agua, debido a las condiciones ácidas que se desarrollan a su paso por la capa de suelo, donde la acción de las bacterias genera CO₂, el cual existe en equilibrio con el ácido carbónico. En estas condiciones de pH bajo, el agua ataca las rocas, particularmente a la calcita (CaCO₃), entrando los compuestos en solución.

El agua dura causa un alto riesgo de depósitos de cal en los sistemas de agua de los usuarios, debido a la deposición de la cal, las tuberías se bloquean y la eficiencia de las calderas y los tanques se reduce. Esto incrementa los costes de calentar el agua sobre un 15 a un 20%.

Otro efecto negativo de la precipitación de la cal es que tiene un efecto dañino en las maquinarias. El ablandamiento del agua significa aumentar la vida media de las maquinarias, y aumentar la vida de las tuberías, incluso contribuye a incrementar la eficiencia en la vida de los sistemas de calentamiento de agua y generadores de vapor, y muchas otras aplicaciones basadas en agua.

La Cervecería Boliviana Nacional S.A. Regional Tarija, cuenta con suministro de agua desde dos pozos surgentes de propiedad de la misma empresa.

CBN Tarija cuenta con dos calderas humotubulares, generadoras de vapor que consumen 1000 kilogramos de agua por hora, la cual comprende agua de pozo.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar el acondicionamiento de las aguas de línea para la generación de vapor en la fábrica CBN Tarija.

Objetivos Específicos

- Caracterizar y cuantificar la demanda de agua tratada para la generación de vapor en la fábrica CBN Tarija
- Seleccionar el proceso de acondicionamiento de agua de línea para la generación de vapor.
- Determinar la localización del equipo de acondicionamiento para la generación de vapor.
- Realizar el balance de materia y energía del equipo de acondicionamiento de agua para la generación de vapor.
- Diseñar y dimensionar los equipos del acondicionamiento de agua para la generación de vapor.
- Realizar el análisis económico de la instalación de los equipos del acondicionamiento de agua para la generación de vapor.

Justificación.

Punto de vista Económico:

El acondicionamiento de agua para generación de vapor trae consigo beneficios de carácter económico, ya que reduce los costos de mantenimiento de la caldera debido a la menor cantidad de sales incrustadas en las paredes de la misma. De la misma manera, se incrementa el tiempo de vida útil de la caldera, lo que también genera un beneficio económico por el tiempo de renovación del equipo. La eficiencia de la

caldera aumenta cuando se usa agua tratada, de esta manera los costos de combustible serán menores.

Punto de vista Tecnológico:

El acondicionamiento de las aguas para caldera aumenta el tiempo de vida útil de los equipos de generación de vapor, debido al menor desgaste por la calidad del agua. La eficiencia térmica de la caldera con agua previamente tratada antes de su ingreso aumenta en un 15 a 20%, incrementando la calidad del vapor generado y disminuyendo el tiempo de calentamiento hasta el cambio de fase líquido a vapor.

Punto de vista Social:

El acondicionamiento de agua para generación de vapor significa evitar las incrustaciones dentro de la caldera, de esta manera se evitan accidentes, tales como quemaduras de diferentes grados producidas por explosiones de la caldera o rupturas de la misma, que representan daños para el personal en caso de avería de la caldera y escape del vapor a altas presiones y temperaturas ocasionadas por acumulación de sólidos en las tuberías.

Punto de vista Ambiental:

El mayor beneficio ambiental está asociado a la reducción del vertido de las sales incrustadas y el desecho de las cañerías que son remplazadas por la acumulación de impurezas.

CAPÍTULO I
Marco Teórico

CAPÍTULO I

Marco teórico

1.1 Descripción de la CBN S.A. Planta Tarija

1.1.1 Antecedentes de la CBN S.A. Planta Tarija

Fruto de la iniciativa de la entonces existente Corporación Regional de Desarrollo de Tarija (CODETAR), y un grupo de empresarios alemanes, nace la única industria cervecera en Tarija, bajo la razón social de Cervecería Bavaria Unión Tarija (CERBAUT) el 6 de junio de 1975, constituyéndose como eslabón principal de la economía departamental.

El 8 de agosto de 1976, sale oficialmente la primera botella de cerveza tipo pilsener, marca “ASTRA”. La fabricación de la cerveza, en un principio, se la efectuaba bajo la dirección de los maestros cerveceros alemanes. En aquel tiempo la cerveza era envasada en la tradicional botella verde, luego ésta fue cambiando hasta llegar a la botella ámbar de 330cc, 350cc, 620cc y 1000cc de capacidad.

No fue tarea fácil consolidar esta empresa cervecera, en su etapa inicial. Se confrontaba con la necesidad de realizar una fuerte inversión de capital en la infraestructura y maquinaria; pero, en algunos socios no existía esa predisposición para continuar invirtiendo en la factoría. Pese a ello, el Ing. Fritz Lochmann Muller, miembro del citado grupo alemán, decidió ponerse al frente de la empresa, cubriendo las inversiones requeridas y adquiriendo la totalidad de las acciones de CODETAR y de los inversionistas alemanes. En esta forma, junto a un equipo humano de trabajo, en el que fusionó la experiencia de técnicos alemanes y la innovadora participación de gente de la región, logró convertir a CERBAUT, a partir del año 1978, en una pujante empresa regional.

En 1981, debido a la gran aceptación de la cerveza negra se decidió producir e incorporar al mercado de Tarija, la cerveza MALTA que tuvo gran acogida en la población por su sabor y alto valor nutritivo.

A pesar de ser una planta pequeña, pero con el deseo de cumplir las expectativas del mercado, lanzó varios nuevos productos: “Tarijeña” (cerveza pilsener en botella de un litro), “ASTRA Light”, “Chaqueña Tropicalizada” y cerveza en lata. Si bien estos productos tuvieron en principio gran aceptación, posteriormente quedaron fuera del mercado debido a la falta de inyección de capital.

Más tarde, en el afán de satisfacer a los consumidores, CERBAUT lanzó al mercado la cerveza en barril cuya principal característica es la de conservar sus atributos de calidad y frescura, además de tener un excelente sabor.

En agosto de 1997, se trasfiere esta industria cervecera, a un grupo de accionistas entre los que se encuentra Cervecería Boliviana Nacional Santa Cruz S.A. (CBN Santa Cruz S.A.) una de las más grandes industrias cerveceras de Bolivia, y cuya inyección económica e industrial permitió que la factoría tenga posibilidades de continuar creciendo, en el marco de la política económica de libre mercado planteada en la coyuntura mundial.

En el año 2000, producto de la fusión de la Cervecería Boliviana Nacional S.A. esta planta ingresa a ser parte del grupo QUINSA y a la fecha es parte de la industria cervecera líder AB InBev.

1.1.2 Localización

La CBN S.A. Planta Tarija, está ubicada en el sur del departamento de Tarija, en la zona industrial sobre la Avenida Héroes del Chaco N° 2775. Tel. (591-4) 6643203.

Figura 1-1**Localización CBN S.A. Tarija**

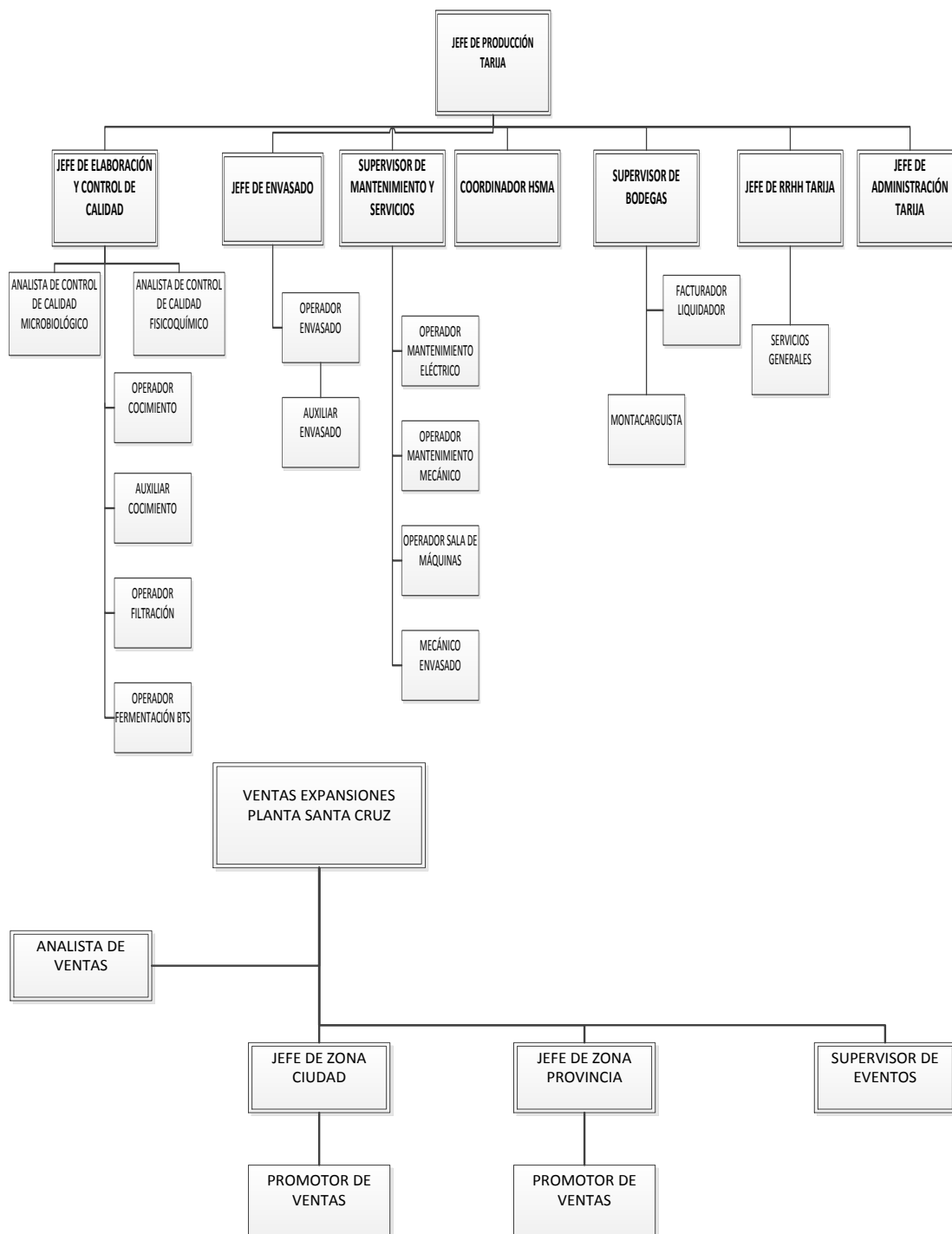
Fuente: Google Earth, 2015

1.1.3 Organización

La CBN S.A., hoy es parte del grupo Anheuser – Busch InBev, la compañía cervecera líder en el mundo y una de las empresas internacionales de bebidas más importantes.

La organización de la CBN S.A. Planta Tarija, se encuentra en la figura 1-2, la compañía se divide en diferentes departamentos, siendo la cabeza del área industrial el gerente de planta, y los departamentos de Logística, Recursos Humanos, Finanzas y Ventas, son dirigidos por un jefe a nivel nacional.

Figura 1-2
Organigrama CBN S.A. Tarija



Fuente: Elaboración Propia

1.1.3.1 Gerente de Planta

Es el responsable del manejo de toda la empresa y que toma todas las decisiones referentes a la producción y supervisa el proceso de fabricación, por lo tanto, es el que lleva el control riguroso de toda la empresa.

1.1.3.2 Jefe de Elaboración y Control de Calidad

Es el responsable de realizar un control riguroso de calidad del producto desde cocimiento hasta producto terminado para cumplir las especificaciones que requieren el producto, cumpliendo las normas de calidad, así mismo es quien se encarga de todo el proceso de producción: cocimiento, fermentación y filtración de la cerveza.

1.1.3.3 Jefe de Envasado

Es el responsable de realizar el control y programación de envasado de la cerveza en planta.

1.1.3.4 Coordinador HSMA (Higiene Seguridad y Medio Ambiente)

Es el encargado de la seguridad de la planta, contra accidentes laborales de los trabajadores ante los riesgos, peligros y heridas, que puedan sufrir los mismos.

1.1.3.5 Supervisor de Mantenimiento y Servicios

Está encargado de supervisar y realizar el mantenimiento de todos los equipos y maquinaria que son utilizados en cada uno de los procesos de producción de la planta en general y los servicios auxiliares con los que cuenta la misma.

1.1.3.6 Supervisor de Bodegas

Es el encargado del producto terminado en bodega y es el que da las salidas a los camiones en tránsito o distribuidores para que el producto salga al mercado mediante ellos. También hay un encargado de la facturación de liquidación.

1.1.3.7 Jefe de Administración Tarija

Es el encargado de llevar todas las cuentas para el pago de los impuestos, sueldos y salarios, también tiene a su cargo los aspectos financieros que relacionan a la empresa con los clientes.

1.1.3.8 Coordinador de RRHH (Recursos Humanos)

Es el encargado de las contrataciones del personal y la administración de los mismos.

1.1.3.9 Jefe de Ventas Tarija

Es el encargado de la distribución de los productos que se producen en la planta y los otros productos importados de las otras plantas, esta distribución se la hace equitativamente a las provincias del departamento de Tarija.

1.1.4 Descripción de las Áreas o Secciones de la Industria

La CBN S.A. Planta Tarija está formada por ocho áreas, las cuáles son descritas a continuación:

1.1.4.1 Elaboración

Este sector se encarga de la elaboración de la cerveza, se subdivide en tres secciones: Cocimiento, Fermentación y Filtración.

Este sector deberá entregar al área de Envasado la cerveza filtrada, en tiempo, calidad y volumen requeridos, teniendo como referencia costos de elaboración y mantenimiento, conservando los activos del sector y mejorando la disponibilidad de los equipos con el fin de maximizar la capacidad de producción, buscando el cuidado y la mejora continua de los recursos humanos y asegurando el cumplimiento de los parámetros de descargas de efluentes y gestión de subproductos.

1.1.4.2 Envasado

Este sector es el encargado de envasar la cerveza previamente filtrada y debe entregar la misma al área Logística, teniendo como referencia costos de elaboración y mantenimiento, conservando los activos del sector y mejorando la disponibilidad de los equipos a fin de maximizar la capacidad de producción, buscando el cuidado y la mejora continua de los recursos humanos y asegurando el cumplimiento de los parámetros de descargas de efluentes y gestión de subproductos.

1.1.4.3 Logística

El objetivo de este sector es garantizar la excelencia logística para la entrega de producto y presentación de servicios conforme con las políticas y estándares.

El negocio de Logística es de recepción y almacenamiento de materia prima, insumos y repuestos, recepción de producto terminado para la venta, gestión de inventarios, planificación y abastecimiento.

Siendo su misión tener excelencia y mejora continua en el abastecimiento de materiales, almacenamiento, despacho de producto terminado, enfocados a brindar el mejor servicio a los clientes a menor costo posible y uso eficiente de los recursos naturales y energéticos.

1.1.4.4 Calidad

Esta área debe asegurar los estándares y controles de materiales, productos y procesos. Tiene como misión asegurar el cumplimiento de los estándares a lo largo de todo el proceso y la disminución del número de reclamos por medio de mejoras continuas en el control del mismo.

1.1.4.5 People

La misión de esta área es atraer, desarrollar y retener a las personas que conforman los equipos de planta a través de la implementación de los procesos de gente, proveer

soporte en la relación con los empleados y asegurar la implementación del Pilar de Gente de VPO.

1.1.4.6 Ventas

Persigue diversificar sus mercados comercializando productos de consumo popular, generando cada día más valor para los clientes, accionistas, empleados y comunidades a las que sirven a través de las acciones, enmarcadas en los principios de responsabilidad social, cumplimiento a las leyes y respeto al medio ambiente.

1.1.4.7 Mantenimiento y Servicios

Esta área se encarga de elaborar un conjunto de técnicas y sistemas que permiten prever las averías, efectuar revisiones, engrases y reparaciones eficaces, dando a la vez normas de buen funcionamiento a los operadores de las máquinas, contribuyendo a los beneficios de la empresa, tratando de alargar la vida de las máquinas de forma rentable.

El objetivo de esta área es definir un sistema de numeración de equipos para lograr confiabilidad de la información, trazabilidad de las órdenes de trabajo y rápida ubicación de los activos.

En cuanto a servicios se refiere, a la provisión de energía, fluidos y tratamiento de efluentes. El área tiene como misión producir para la planta la energía y fluidos necesarios con la calidad requerida conforme a las regulaciones vigentes al menor costo posible, mantener a los activos del sector y mejorar la disponibilidad de los equipos a fin de maximizar la capacidad de producción, teniendo como referencia los costos de mantenimiento de clase mundial y asegurar que la descarga de efluentes cumpla con los requisitos legales.

1.1.4.8 Higiene, Seguridad y Medio Ambiente (HSMA)

Esta área se encarga del cumplimiento de las reglas de seguridad industrial garantizando la seguridad de las instalaciones, debe gestionar los residuos y

subproductos de planta para maximizar las ganancias y minimizar los residuos, cumpliendo con los lineamientos locales de la AB InBev. También se encarga de la eliminación, reducción y prevención de las enfermedades profesionales derivadas del trabajo, asegurando la salud ocupacional de sus empleados.

1.2 Descripción del Proceso

La Cerveza es la bebida de bajo contenido alcohólico resultante de la fermentación del mosto de granos de cebada a través de levadura cuidadosamente seleccionada, sólo o aromatizado con lúpulo u otros derivados.

Para la fabricación de la cerveza se requieren cuatro materias primas: malta de cebada, lúpulo, agua y levadura. La calidad de estas materias primas influye en la calidad del producto final.

La malta de cebada es la materia prima principal para la fabricación de la cerveza, se obtiene del proceso de malteo de granos de cebada cervecera, de alto rendimiento en extracto. El malteo comprende el desarrollo controlado de la germinación del grano y con un procedimiento final de secado y tostado. Una vez transformada, la malta cederá al almidón, las enzimas y las proteínas necesarias para la elaboración del mosto.

El lúpulo proviene de las flores maduras femeninas de la planta de lúpulo. Dota a la cerveza de gusto amargo, agradable y de fino aroma que lo caracteriza, interviniendo en la formación y calidad de espuma.

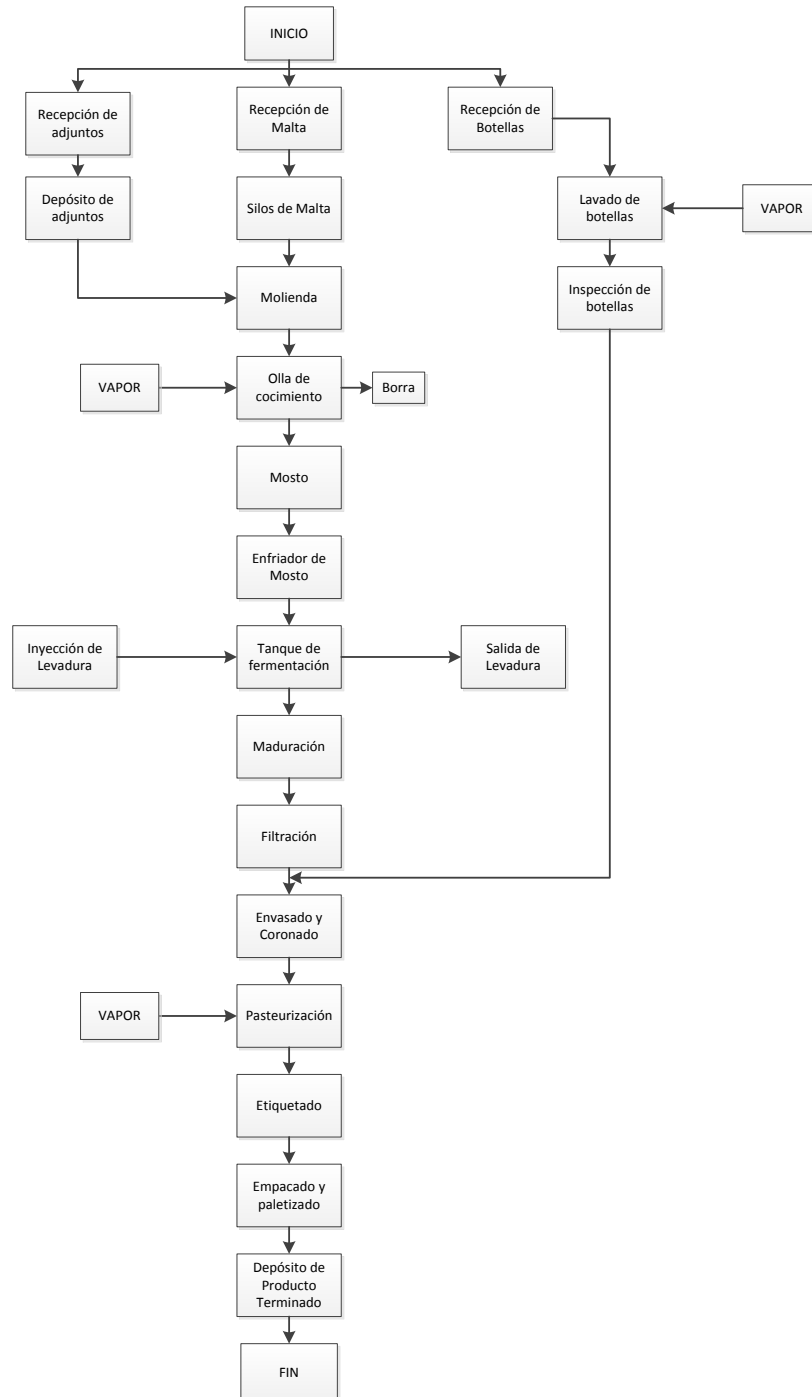
Las levaduras son hongos unicelulares que se reproducen por gemación. La levadura es esencial para el proceso de la elaboración de cerveza en donde la mayor parte de las sustancias presentes en el mosto (azúcares) difunden a través de la pared hacia el interior de la célula. Es ahí donde los azúcares se transforman en alcohol y gas carbónico. A esta transformación se la conoce con el nombre de fermentación. A su vez, en el interior de la célula se generan otros subproductos que son claves para el desarrollo del sabor y aroma de la cerveza.

El agua, al igual que todos los demás componentes, es de gran importancia en el proceso porque colabora en el sabor final del producto y debe mantenerse con los estándares de calidad exigidos.

El diagrama de bloques de la elaboración de la cerveza en CBN S.A. Planta Tarija, se encuentra detallado en el Diagrama 1-1.

Diagrama 1-1.

Diagrama de Bloques CBN S.A. Tarija



Fuente: Elaboración Propia.

1.2.1 Recepción y Almacenamiento de Materias Primas

1.2.1.1 Malta

La malta es entregada en camiones al área de Logística, la cual revisa que se cumplan los requerimientos establecidos en la institución, una vez aprobada es almacenada en silos de paredes lisas y fondo cónico.

La CBN S.A. Planta Tarija, cuenta con tres silos con una capacidad de almacenamiento de 30000 toneladas.

1.2.1.2 Sémola de Maíz e Insumos

La sémola y los insumos (lúpulo, conservantes y colorantes autorizados) son entregados en camiones al área de Logística, la cual, a su llegada, realiza la revisión del cumplimiento de los lineamientos establecidos por la empresa, una vez aprobado el ingreso son almacenados en la Sala de Semillas.

1.2.2 Molienda

A los efectos de posibilitar a las enzimas de la malta a que actúen sobre los componentes de la misma y que los descompongan durante la maceración, la malta debe ser triturada, a este proceso se llama molturación. La cantidad de carga de materias primas utilizada para un cocimiento se denomina carga.

La molturación es un proceso de trituración mecánica, en el que, sin embargo, las cáscaras deben ser tratadas cuidadosamente, dado que se las necesita como material filtrante en la filtración del mosto.

Para la trituración debe tenerse en cuenta una serie de consideraciones. Pero antes de molturar la malta, la cantidad de carga utilizada es pesada con una balanza.

La malta es triturada en el molino triturador de malta.

En la maceración, las enzimas deben tener la posibilidad de alcanzar los componentes de la malta, para degradarlos. Para ello, la malta debe ser triturada. Con una

trituration progresiva, aumenta la superficie de ataque para las enzimas y mejora la degradación de las sustancias. Pero posteriormente a la maceración se realiza la filtración del mosto. Esto es un proceso, en el que se requieren las cáscaras como material filtrante, en dependencia del equipo de filtración de mosto utilizado.

Dado que las cáscaras se requieren para la filtración del mosto, éstas deben ser destruidas lo menos posible durante la molturación. Una cáscara seca se astilla fácilmente y, debido a la formación de pequeñas partículas por el astillado, se reduce fuertemente la capacidad de filtración de la cáscara. Por otro lado, la cáscara será tanto más elástica, cuanto más húmeda se encuentre. Por humedecimiento, la cáscara se hace más elástica y puede ser protegida más fácilmente; de esta manera, el proceso de filtración de mosto se desarrolla de forma más rápida. Este proceso se denomina acondicionamiento.

1.2.3 Maceración

La maceración es el proceso más importante en la fabricación de mosto. En la maceración, la molienda y el agua son mezcladas entre sí (macerados). Los componentes de la malta entran así en solución y, con ayuda de las enzimas, se los obtiene como extractos. Las transformaciones durante la maceración tienen una importancia decisiva.

Sólo una parte de los componentes de la molienda es soluble. Pero a la cerveza sólo pueden pasar sustancias solubles. Es por ello necesario que las sustancias insolubles de la molienda sean convertidas en sustancias solubles durante la maceración.

Todas las sustancias que entran en solución se denominan extracto.

Son solubles, por ejemplo, los azúcares las dextrinas, las sustancias minerales y determinadas sustancias albuminoideas.

Insolubles son el almidón, la celulosa, una parte de las sustancias albuminoideas de alto peso molecular y otros compuestos, que quedan como heces al final del proceso de filtración de mosto.

Por motivos económicos, se trata de convertir en soluble la mayor cantidad posible de compuestos insolubles. Es decir, formar mucho extracto, en lo posible. Sin embargo, no es sólo de importancia la cantidad, si no en especial la calidad del extracto, porque hay ciertas sustancias (por ejemplo, los taninos provenientes de las cáscaras) que son indeseadas, en lo posible, en tanto que otras (por ejemplo, determinados azúcares o productos de degradación de proteínas) son particularmente requeridas.

Por eso, el propósito de la maceración es la degradación completa del almidón para la obtención de azúcares y dextrinas solubles. Se forman en esto también en otros extractos. La cantidad principal de extracto recién es formada durante la maceración, por la actividad de las enzimas, a las cuales se deja actuar con sus temperaturas óptimas.

1.2.4 Filtración del Mosto

La cuba de filtración es el equipo de filtración más antiguo y, por lejos, el más difundido. Consiste de un recipiente cilíndrico, sobre cuyo doble fondo ranurado se depositan las heces, filtrando el mosto.

En las últimas décadas ha habido una serie de cambios en el diseño y el modo de operación de las cubas de filtración.

La influencia perjudicial del oxígeno sobre el mosto ya es conocida desde hace mucho tiempo. Justo al descargar el mosto de las válvulas con cuello de cisne a la canaleta colectora, es muy alta la absorción de oxígeno. Para no tener que comprar una nueva cuba de filtración, la fábrica ha conectado los tubos de descarga con un tubo colector, detrás de las válvulas de cuello de cisne, y llevan el mosto directamente a la paila o al tanque de espera, sin absorción de oxígeno. Se mantiene así la vista de

la canaleta colectora, sin que cumpla una función en la filtración. Pero se la utiliza todavía en la descarga del agua de enjuague.

1.2.5 Cocción del Mosto

El mosto obtenido se cuece durante 50 hasta 60 minutos. Durante ese tiempo se agrega el lúpulo.

Durante la cocción del mosto pasan a éste componentes amargos y aromáticos del lúpulo y al mismo tiempo se precipitan sustancias albuminoideas.

La cocción del mosto ocurre en la paila de mosto, que está equipada con todo lo necesario para la cocción. Cuando todo el cocimiento se encuentra en la paila del mosto, se habla del mosto de paila llena. El producto final de la cocción del mosto es llamado mosto caliente o mosto al bombear.

Durante la cocción del mosto ocurre una serie de procesos, que son de importancia para la elaboración:

- Disolución y transformación de componentes del lúpulo.
- Formación y precipitación de compuestos formados por proteínas y polifenoles.
- Evaporación del agua.
- Esterilización del mosto.
- Destrucción de todas las enzimas.
- Carga térmica del mosto.
- Reducción del valor pH del mosto.
- Formación de sustancias reductoras
- Evaporación de sustancias aromáticas indeseadas.

Dado que la levadura sólo puede fermentar a bajas temperaturas, se debe enfriar el mosto caliente lo más rápidamente posible a una temperatura de 5 a 6°C, frecuentemente también de 7 a 10°C. Esto ocurre en la cámara de refrigeración.

Durante este proceso el mosto primeramente brillante se enturbia, debido a la formación de trub en el frío. El enfriamiento del mosto es importante, porque la permanencia prolongada en temperaturas intermedias incrementa el riesgo de propagación de microorganismos perjudiciales para la cerveza. En el momento de bombeo de mosto caliente, este último se encuentra libre de gérmenes. Si ingresan a la cerveza durante el proceso de producción microorganismos perjudiciales para aquélla y se propagan, pueden influir negativamente en la cerveza o convertirla en no apta para la venta, ya antes de la filtración por la formación de productos de metabolización.

1.2.6 Fermentación

Para la transformación del mosto en cerveza, los azúcares contenidos en el mosto deben ser fermentados, por las enzimas de la levadura, a etanol y dióxido de carbono.

Se forman en este proceso subproductos de fermentación, que influyen de forma substancial sobre el sabor, el olor y otras propiedades de valoración de la cerveza. La formación y la degradación parcial de estos productos secundarios están íntimamente ligadas con el metabolismo de la levadura y sólo pueden ser consideradas en conexión con este último.

El proceso más importante es la fermentación de los azúcares contenidos en el mosto a etanol y dióxido de carbono por parte de la levadura. Las reacciones en la fermentación se pueden dividir en reacciones de fermentación principal y reacciones de maduración, pero las reacciones solapan entre sí. Es por ello necesario considerar las reacciones de fermentación y maduración como un proceso continuo.

Juega en esto un papel especial el hecho de que, debido al metabolismo de la levadura, se formen durante la fermentación productos secundarios y que algunos de ellos sean degradados nuevamente de forma parcial. Estos productos secundarios de fermentación determinan de forma decisiva, junto con los componentes del lúpulo, el

sabor y el aroma de la cerveza. Por ello, es particularmente importante saber cómo se forman y cómo se degradan.

1.2.7 Maduración

En la fase de maduración, tienen lugar dos procesos, aparte de la fermentación secundaria, los que deben ser considerados en forma separada: la saturación de la cerveza con dióxido de carbono, bajo sobrepresión, y la extracción de todos los componentes formadores de trub de cerveza.

1.2.8 Filtración

Al finalizar el proceso de maduración, la cerveza está libre de oxígeno, pero aún quedan contenidas por cada mililitro hasta un millón de células de levadura y otras partículas de turbidez como sólidos en suspensión, los cuales deben ser extraídos sin que tenga acceso a la cerveza el oxígeno deteriorante.

La filtración es un proceso de separación, en el cual se extraen las células de levadura y otras sustancias de turbidez aún contenidas en la cerveza. En este proceso también se separan aquellas sustancias, que de lo contrario, precipitarían por sí solas en el curso de las próximas semanas y meses causarían turbidez en la cerveza.

El objetivo de la filtración es hacer que la cerveza sea conservable de manera tal que por un tiempo prolongado no se produzcan cambios visibles.

La filtración ocurre de manera tal que la cerveza aún turbia es separada por un medio filtrante en un líquido filtrado clarificado y un residuo de filtración o torta filtrante, que queda retenido.

Según el objetivo de clarificación, se diferencia en esto entre filtración gruesa, fina o esterilizante, con todas las etapas intermedias. El caudal específico del filtro disminuye con el aumento de la finura de filtración, dado que la filtración más fina requiere obligadamente poros más pequeños. Por ello, se necesita un medio filtrante

para la filtración, cuyo efecto filtrante, en algunos casos, debe ser apoyado por un medio auxiliar de filtración.

La filtración es impulsada por una presión diferencial entre la entrada del filtro y la salida del mismo. La presión del lado de entrada es siempre mayor que la presión del lado de salida. Cuanto mayor sea esta diferencia de presión tanto mayor es la resistencia ejercida por el filtro a filtración. Esta presión diferencial aumenta fuertemente hacia el final de la filtración.

1.2.9 Embotellado

La cerveza es envasada en botellas de vidrio, durante el envasado deben conservarse todos los parámetros de calidad y se debe evitar cualquier ingreso de aire a la cerveza. Para la realización del envasado desde el suministro hasta el despacho se requiere un sistema integral de máquinas, embalaje y transporte. A través de un sistema integral de control debe cuidarse de que únicamente salgan a la venta aquellas botellas que cumplen las normas requeridas.

En CBN S.A. Planta Tarija, se envasa la cerveza en botellas de vidrio retornables. El vidrio es en muchos aspectos un material ideal de embalaje para bebidas.

En la preparación y tratamiento para el envasado de botellas de vidrio retornables es necesaria una serie de pasos de proceso:

- La clasificación de las botellas y cajones, en botellas y cajones propios y ajenos.
- El control de las botellas retornables devueltas.
- El lavado de botellas retornables
- La inspección de botellas retornables limpiadas en lo que respecta a limpieza y daños.
- El llenado y coronado de las botellas.
- El control de nivel de llenado de las botellas llenadas.
- El pasteurizado de las botellas llenadas.

- El etiquetado y codificado de las botellas.
- El embalaje en cajones y paletizado.

1.2.10 Pasteurizado

Cuando se pasteuriza una bebida en la botella, ya no se pueden desarrollar microbios en la bebida. La pasteurización es por ello el método más seguro de estabilización de una bebida, sobre todo si aún contiene sustancias fermentables disueltas.

En la pasteurización se calienta todo el contenido de la botella a la temperatura de pasteurización deseada, la cual se mantiene durante el tiempo correspondiente para proveer a la bebida las unidades de pasteurización necesarias para la destrucción de todos los contaminantes.

1.2.11 Almacenamiento

Antes de almacenar la cerveza embotellada, debe ser etiquetada mediante una máquina etiquetadora automática donde se especifica con un código la fecha y hora de envasado y la fecha de expiración del producto. Pasada esta etapa se realiza el encajonado de las botellas para luego ser pasadas a los almacenes donde serán distribuidas.

1.3 Servicios Auxiliares

Los siguientes son los servicios auxiliares con los que cuenta la Planta:

1.3.1 Sistema de Agua

Este tipo de industrias consumen grandes volúmenes de agua, tanto para la limpieza de los equipos, como para las etapas de elaboración del producto. La fuente de agua en CBN S.A. Planta Tarija es de dos pozos subterráneos de propiedad de la misma empresa.

1.3.2 Sistema de Generación de Energía Eléctrica

La fuente de energía eléctrica de la CBN S.A. Planta Tarija, es proporcionada por la empresa de Servicios Eléctricos de Tarija (SETAR), es energía trifásica de 380 voltios, que pasa por un transformador para su respectivo uso.

1.3.3 Sistema de Refrigeración

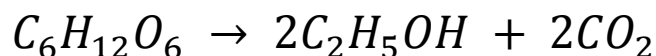
Un sistema de refrigeración por compresión de amoníaco, utilizado para enfriar glicol manejado en la refrigeración de las áreas de fermentación, maduración y filtración y evitar la contaminación de la cerveza con amoníaco.

1.3.4 Sistema de Aire Comprimido

Se genera aire comprimido que es utilizado en el proceso de elaboración de la bebida.

1.3.5 Sistema de Dióxido de Carbono

La CBN S.A. Planta Tarija genera y recupera dióxido de carbono. Se utiliza para la gasificación bajo contrapresión en la llenadora, contrapresión para tanques de almacenamiento de cerveza, embotellamiento y neutralización de residuos cáusticos y es recuperado del proceso de fermentación donde una molécula de glucosa fermentada se transforma tanto en dos moléculas de etanol como de dióxido de carbono. La ecuación que rige este proceso de recuperación es la siguiente:



1.3.6 Sistema de Generación de Vapor

El vapor generado es utilizado para calentar algunos equipos, como los tanques de solución de soda cáustica utilizada en la lavadora de botellas, también para el área de elaboración y la pasteurización de la cerveza. El vapor es generado mediante 2 calderos humotubulares, que funcionan dependiendo del requerimiento de vapor en planta, producen 1000 kilogramos de vapor sobrecalentado por hora, a 180°C, y 4

bares de presión. La entrada de agua es de 8 bares como máximo, generalmente ingresa a 4 bares. Estas calderas son automáticas para gas natural, con retorno de llama.

Algunos diagramas termodinámicos nos permiten observar las características de los fluidos a diferentes presiones y temperaturas, en el caso del agua, el diagrama más utilizado es el Diagrama de Mollier, que nos permite conocer el comportamiento de dicho fluido, conocer sus propiedades termodinámicas a partir de diferentes presiones y temperaturas. En este caso, nos permite confirmar su estado de vapor a la temperatura y presión ya mencionadas.

Las curvas verticales muestran la presión del fluido, mientras que las horizontales su temperatura. Haciendo coincidir ambas en un punto se puede observar que se encuentra por encima de la curva de saturación, lo que confirma la existencia de vapor de agua.

Ver Anexo 1.

1.4 Manejo de Materiales

Las materias primas, insumos, materiales auxiliares y de empaquetado (packaging) son entregados por proveedores autorizados por la empresa a excepción de los cereales que deben ser analizados por el Establecimiento de Agroindustrias.

Los materiales se encuentran almacenados cuidadosamente para evitar el deterioro, protegiéndose contra la contaminación y daños. Estos al no ser utilizados deben mantenerse cerrados para evitar su contaminación con otros materiales.

Aquellos materiales cuyos envoltorios se encuentran dañados son identificados y retenidos como Insumos Retenidos (IR) hasta definir su disposición final.

1.4.1 Cereales

La malta y los adjuntos son inspeccionados en el momento de su ingreso a planta, se debe verificar que los transportes estén libres de condiciones que puedan contaminar el producto, como pájaros, roedores, insectos, derrames de combustibles y suciedad en general. La zona de descarga debe estar en buenas condiciones y libre de plagas. Los cereales deben tener un promedio de residencia en el silo no mayor a 7 días.

1.4.2 Lúpulo

Se almacena en lugar seco y refrigerado, sobre paletas y sin tocar las paredes, donde sólo se almacena lúpulo. La zona de almacenamiento debe estar limpia y en buenas condiciones.

1.4.3 Agentes Químicos

Los agentes químicos se almacenan en depósitos lejos de la zona productiva. Aquellos que sean incompatibles, ácidos y álcalis, se almacenan en áreas separadas. Los agentes que sean almacenados en áreas de producción deben tener bandejas de contención de líquidos en caso de derrames.

1.5 Planta de Tratamiento de Efluentes

Se encarga de tratar el agua usada en el proceso para que a su salida cumpla con los requerimientos de la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado Tarija Ltda. (COSAALT Ltda.).

Se caracteriza por tener dos etapas en el tratamiento biológico. La primera etapa biológica es a través de biomasa adherida tipo MBBR (Moving Bed BioReactor) con relleno móvil que permite altas tasas de carga y eficiencias del 60% aproximadamente. Seguido al MBBR, continúa una etapa de afinamiento del tipo de barros activados en aireación extendida compuesto por la cámara de aireación y un sedimentador secundario diseñado para lograr la clarificación final del efluente. A continuación se describe brevemente cada una de las unidades:

1.5.1 Bombeo y Pre tratamiento

El efluente industrial llega a las cámaras existentes por gravedad. Previo al ingreso del líquido a la primera cámara, hay una reja gruesa para protección de las bombas. En esta cámara se incorpora una medición de caudal vía canaleta Parshall.

El efluente crudo llega bombeado a un tamiz estático, con malla de 0,5 mm de paso y con una capacidad tal para manejar el caudal máximo de efluente. El efluente filtrado sigue su curso hacia un tanque Ecuilizador o hacia un tanque secuestrante, según la medición de potencial redox. Los sólidos separados son retirados en contenedor.

1.5.2 Ecuilizador y Secuestrante

El tanque de ecuilización recibe el efluente crudo filtrado. Dicho tanque de ecuilización es metálico, cilíndrico, con un volumen útil de 100 metros cúbicos. El mismo cuenta con agitación/aireación, para mantener homogéneo el efluente crudo. El tanque cuenta con sensor de nivel con el que operará la bomba de envío de efluente ecuilizado.

El tanque secuestrante, es de iguales características constructivas que la ecuilización, y recibe el líquido que no puede tratarse directamente. Cuenta con una bomba para reingresar el efluente hacia la ecuilización, de manera controlada.

1.5.3 Acondicionamiento

Se controlará y ajustará el pH en línea mediante un sistema de dosificación de soda cáustica al 48% y ácido fosfórico al 85%. El efluente ecuilizado ingresa al tanque mezclador a caudal controlado. Dicho tanque contará con la medición continua de pH. En caso de pH fuera de rango el sistema reciclará el efluente al tanque de ecuilización hasta tanto se pueda corregir la condición para el envío del efluente al tratamiento biológico.

1.5.4 Tratamiento Biológico

El sistema se compone de dos etapas: una de tratamiento biológico con biomasa adherida tipo MBBR con relleno móvil, y un tratamiento biológico de afinamiento de barros activados en aireación extendida compuesto por la cámara de aireación y un sedimentador secundario.

Tres compresores (uno en stand by) entregan el aire necesario para el tratamiento. El manifold permitirá que cualquiera de los equipos alimente a cualquiera de los puntos de consumo. En funcionamiento normal, el aire será conducido en forma individual desde cada compresor por dos ramales, un ramal alimentará el reactor MBBR y el otro, al reactor de lodos activados. El nivel de Oxígeno disuelto en la cámara de lodos activados se mantendrá entre 2,0 y 3,0 mg/L el control de este parámetro se realizará mediante un medidor de oxígeno colocado en el reactor, que comandará el arranque/parada y modulación del caudal del compresor según las necesidades del proceso.

Una vez que el efluente sale del reactor de lodos activados, ingresa al sedimentador secundario, el que posee un área de 14 metros cuadrados. Por el vertedero de salida se obtendrá el efluente clarificado, el que será conducido por gravedad a la cámara para su vertido final.

Una parte de los lodos extraídos desde el fondo del clarificador, serán bombeados nuevamente al tanque de aireación, mediante una bomba airlift, donde la concentración de SST (Sólidos Suspending Totales) deberá mantenerse entre 3000-3500 mg/L. Lo restante, será extraído como caudal de purga del sistema y enviado al tanque receptor para su posterior tratamiento y disposición final. Estas acciones serán operadas manualmente según la necesidad del sistema.

1.5.5 Tratamiento de Lodos

El caudal de purga instantáneo estimado es de un metro cúbico por hora. El Sistema de deshidratación de lodos, estará compuesto por una bomba neumática, un filtro prensa con una capacidad de 100 L y un sistema de dosificación de polímero con mezclador en línea para facilitar la operación de deshidratado.

La duración máxima por batch es de 4 horas. El sistema está preparado para recibir hasta 6 kg/cm^2 de presión de trabajo. La presión de trabajo será la que le imprima la bomba neumática de alimentación.

El lodo deshidratado será retirado de la planta para su disposición final. La concentración esperada del lodo a disponer se estima en un 20%. El líquido excedente se retorna al reactor MBBR.

CAPÍTULO II
Concepción y Definición del Problema

CAPÍTULO II

Concepción y Definición del Problema

2.1 Definición del Problema

Debido a que el agua dura causa un alto riesgo de depósitos de sales en los sistemas de agua, disminuye la eficiencia de transferencia de calor en las calderas, tiene un efecto dañino en las maquinarias y que el agua de pozo de la empresa presenta dureza, es posible considerar realizar un acondicionamiento de las aguas, para utilizar la misma en la producción de vapor para los procesos requeridos.

La Cervecería Boliviana Nacional S.A. Planta Tarija, cuenta con suministro de agua desde un pozo surgente de propiedad de la misma empresa.

CBN Tarija cuenta con dos calderas humotubulares, generadoras de vapor que consumen 1000 kilogramos de agua por hora, la cual comprende agua de pozo.

En la CBN Tarija, se utilizan en promedio 20 metros cúbicos de agua destinados a la generación de vapor, utilizado en las áreas de Cocimiento y Envasado para el cocimiento de la malta y la pasteurización de la cerveza, además del calentamiento de las soluciones de soda cáustica en la lavadora de botellas.

La caracterización del agua a la entrada de la caldera y los parámetros de interés que se requieren a la entrada de la misma, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II-1.
Parámetros Fisicoquímicos del agua a la entrada de la caldera.

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE ENTRADA A CALDERA						
Turbiedad UNT	Sólidos Totales (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Dureza cálcica (mg/L)	pH	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)
10	3500	35	0	6 - 8	0	0

Fuente: Requerimientos de la entrada de agua de acuerdo al manual de la caldera GONELLA, CBN. 2011. Documento Controlado.

A continuación, se conceptualizan dichos parámetros, con el fin de entender la importancia de medición y la técnica de la misma.

Turbiedad

Es la falta de transparencia en el agua debido a los sólidos en suspensión, microorganismos y contaminantes existentes en el agua, es una medida de la calidad del agua, entre mayor sea la turbiedad, menor es la calidad. La turbiedad se mide con un turbidímetro, en Unidades Nefelométricas de Turbidez, UNT. Cada UNT equivale a una parte por millón de formazina estándar.

Sólidos totales

Es el contenido de materia disuelta y suspendida presente en el agua, su determinación se basa en una medición cuantitativa del incremento de peso que experimenta una cápsula previamente tarada tras la evaporación de una muestra y secado a peso constante a 103°C o 105°C.

Dureza total

Es la concentración total de calcio y magnesio presentes en el agua. No nos proporciona en sí misma ninguna información sobre el carácter incrustante del agua ya que no contempla la concentración de los iones bicarbonato presentes. Puede ser determinada mediante una titulación de complejación usando ácido tetracético de etilendiamina (EDTA) como titulante y como indicador negro de eriocromo T.

Dureza cálcica

Es la concentración total de calcio presente en el agua. Puede ser determinada mediante una titulación de complejación usando ácido tetracético de etilendiamina (EDTA) como titulante y como indicador la fenolftaleína, que vira de transparente cuando forma complejo con el calcio a rosa cuando está libre.

pH

Es una medida de la acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias. Se define como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno. El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como pH-metro.

Demanda Biológica de Oxígeno, DBO

Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente transcurridos cinco días de reacción (DBO_5) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ($ppmO_2$). El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de microorganismos.

Demanda Química de Oxígeno, DQO

Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ($ppmO_2$). Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros, etc.) que también se reflejan en la medida. El procedimiento de ensayo se basa en la oxidación de la materia utilizando dicromato de potasio como oxidante en presencia de ácido sulfúrico e iones de plata como catalizador. La disolución acuosa se calienta bajo

reflujo durante dos horas a 150°C. Luego se evalúa la cantidad de dicromato sin reaccionar titulando con una disolución de hierro (II).

Habiendo realizado pruebas del agua en la CBN S.A. Tarija para un seguimiento más preciso de las características de la misma antes de la entrada a la caldera, se pueden observar los siguientes resultados:

Tabla II-2.
Datos del Agua en CBN S.A. Tarija

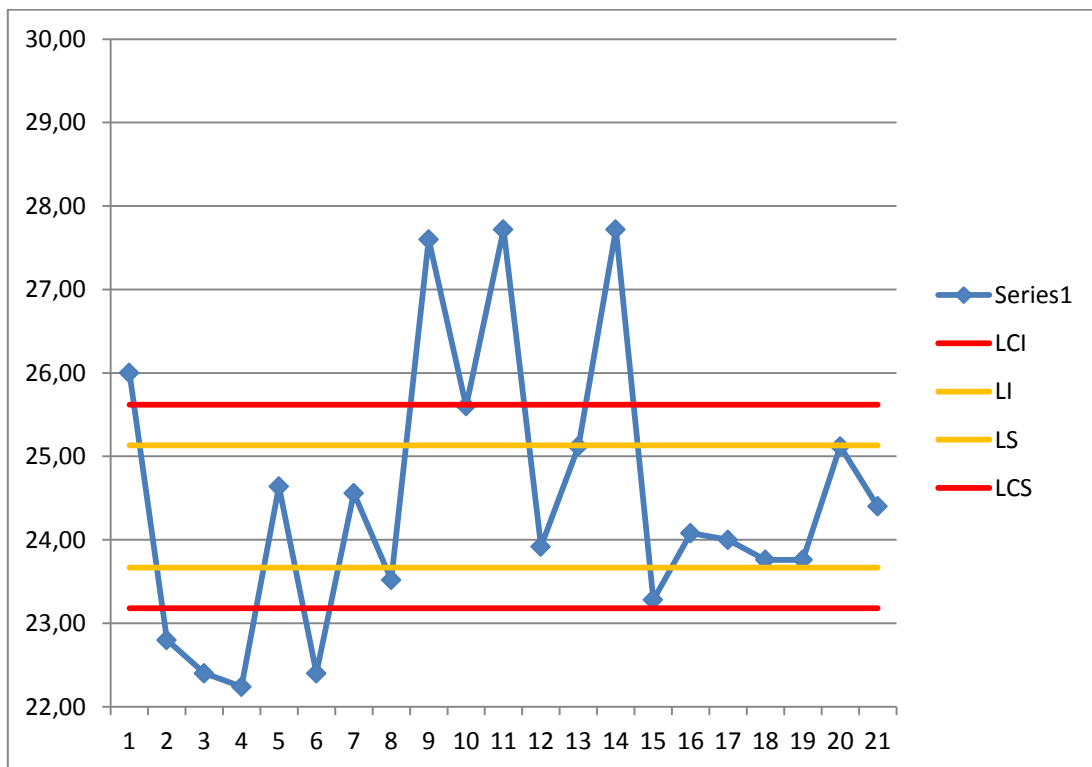
<i>Planta Tarija</i>	Tanque Pulmón						
	Dureza Total (mg/L)	Dureza Cálctica (mg/L)	pH (upH)	Turbiedad UNT	Sólidos Totales (mg/L)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)
Fecha							
23/02/2015	71,00	- *	6,70	<1	<100	0,00	0,00
24/02/2015	59,00	- *	9,65	<1	<100	0,00	0,00
25/02/2015	61,20	- *	6,99	<1	<100	0,00	0,00
26/02/2015	56,40	26,00	6,84	<1	<100	0,00	0,00
27/02/2015	50,80	22,80	6,84	<1	<100	0,00	0,00
02/03/2015	52,80	22,40	7,07	<1	<100	0,00	0,00
03/03/2015	56,80	22,24	6,96	<1	<100	0,00	0,00
04/03/2015	56,60	24,64	6,38	<1	<100	0,00	0,00
05/03/2015	48,80	22,40	6,23	<1	<100	0,00	0,00
06/03/2015	55,40	24,56	6,23	<1	<100	0,00	0,00
09/03/2015	66,40	23,52	6,64	<1	<100	0,00	0,00
10/03/2015	47,20	27,60	6,85	<1	<100	0,00	0,00
16/03/2015	50,00	25,60	7,25	<1	<100	0,00	0,00
17/03/2015	52,20	27,72	6,72	<1	<100	0,00	0,00
18/03/2015	49,00	23,92	6,45	<1	<100	0,00	0,00
19/03/2015	60,60	25,12	7,02	<1	<100	0,00	0,00
20/03/2015	49,20	27,72	7,06	<1	<100	0,00	0,00
23/03/2015	47,80	23,28	7,17	<1	<100	0,00	0,00
25/03/2015	57,80	24,08	6,57	<1	<100	0,00	0,00
26/03/2015	53,40	24,00	6,60	<1	<100	0,00	0,00
27/03/2015	50,60	23,76	6,83	<1	<100	0,00	0,00
28/03/2015	50,20	23,76	6,68	<1	<100	0,00	0,00
31/03/2015	53,20	25,12	6,82	<1	<100	0,00	0,00
01/04/2015	54,00	24,40	6,91	<1	<100	0,00	0,00
PROMEDIO	54,60	24,51	6,89	1,00	100,00	0,00	0,00
(*) Por falta de reactivo no se realiza la prueba							

Fuente: Elaboración Propia

Luego de la recolección de datos, se procede a la realización de un análisis de los mismos, con el fin de caracterizar la materia prima en función de los parámetros a corregir, puesto que se observa que los datos que se encuentran fuera de parámetro son sólo los valores de dureza, tanto cálcica como total, esto se realiza haciendo gráficos de líneas con los valores mostrados en la tabla II-2 y dando límites críticos superiores e inferiores con fines estadísticos, tomando un margen de error de 3% y de 5% del dato promedio, para poder ver la tendencia de los datos, estimando el valor máximo que podrían tomar los resultados, como se muestra en las siguientes figuras:

Figura 2-1.

Análisis de Resultados de la Dureza Cálcica en el Agua de CBN S.A Tarija



Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se observan con líneas rojas, los valores críticos superior e inferior que podría tener el agua de la CBN, que se definen con el criterio de conocer el comportamiento del agua de alimentación a las caldera y poder tomar una decisión sobre qué datos trabajar el diseño de la planta de acondicionamiento, de esta manera

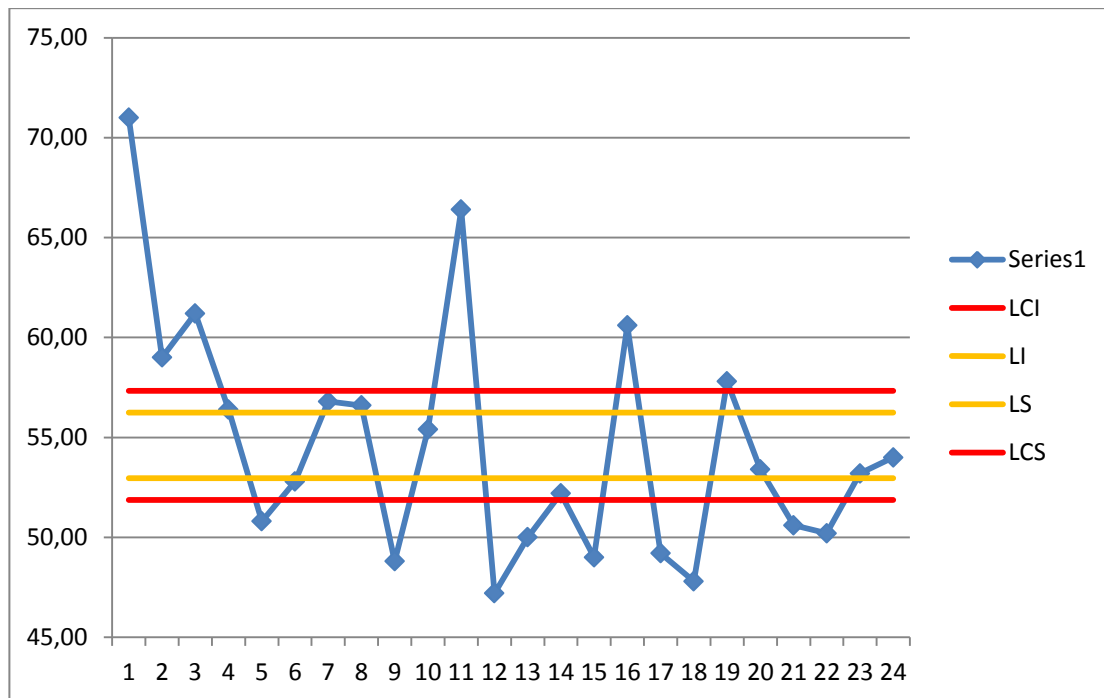
se observan ciertos datos fuera de parámetro, que se repiten cerca del rango entre las 27 y 28 ppm de calcio en el agua.

Es por esto, que se decide realizar el diseño del equipo para la eliminación de 27,72 mg/L de calcio.

En el caso de la dureza total, podemos observar en análisis en la siguiente figura:

Figura 2-2.

Análisis de Resultados de la Dureza Total en el Agua de CBN S.A Tarija



Fuente: Elaboración Propia

Con el mismo criterio que en la anterior figura, en esta se observa que los datos dispersos se encuentran entre las 60 y 65 ppm de carbonatos, se observa un dato de 71 ppm que se descarta debido a que es un valor muy alto y no repetitivo, por lo que se decide realizar el diseño del equipo para el valor más alto y cercano a los valores que se repiten y, al mismo tiempo, se encuentran fuera de rango, es decir 66,40 mg/L de carbonatos.

El acondicionamiento que se realiza al agua de línea, reduce la dureza total de la misma, de esta manera permite que el agua se encuentre en condiciones favorables para su uso en caldera.

2.2 Descripción de alternativas técnicas de solución.

Para tratar el agua de línea y mejorar los valores de los parámetros de dureza señalados anteriormente, se realiza un tratamiento de ablandamiento de la misma con el fin de utilizar el agua en las calderas, a continuación se pone a consideración las características de cada proceso para la selección del método de tratamiento requerido.

Para el ablandamiento se consideran los siguientes procesos, en los que se toma en cuenta todas las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, y se selecciona el proceso en función de los aspectos más relevantes a considerar: Riesgo para el personal, rendimiento y costo, expresados en una matriz de decisión.

Ósmosis inversa

El fenómeno de la ósmosis está basado en la búsqueda del equilibrio. Cuando se ponen en contacto dos fluidos con diferentes concentraciones de sólidos disueltos se mezclarán hasta que la concentración sea uniforme. Si estos fluidos están separados por una membrana permeable, la cual permite el paso a través de uno de los fluidos, el fluido que se moverá a través de la membrana será el de menor concentración de tal forma que pasa al fluido de mayor concentración. Al cabo de un tiempo el contenido en agua será mayor en uno de los lados de la membrana. Si se utiliza una presión superior a la presión osmótica, se produce el efecto contrario. Los fluidos se presionan a través de la membrana, mientras los sólidos disueltos quedan atrás. Para poder purificar el agua se necesita llevar a cabo el proceso contrario a la ósmosis convencional, es lo que se conoce como ósmosis inversa. Se trata de un proceso con membranas. Para poder forzar el paso del agua que se encuentra en la corriente de salmuera a la corriente de agua con baja concentración de sal, es necesario presurizar el agua a un valor superior al de la presión osmótica. Como consecuencia a este proceso, la salmuera se concentra más. Permite la remoción de aproximadamente el

99% de la contaminación microbiana, no introduce residuos químicos. Tiene un costo menor que los métodos que emplean calor y éste, se mantiene constante independientemente del grado de impurezas que contenga el agua, no representa un riesgo para el personal. El método resulta más costoso que los métodos químicos. El agua, que va a ser sometida a este tratamiento, debe tener una calidad química y microbiológica determinada para evitar el deterioro y/o la contaminación de la membrana. No se deben emplear presiones demasiado elevadas porque esto puede provocar la ruptura de la membrana.

Zeolitas de intercambio iónico

Son sustancias granuladas insolubles las cuales tienen en su estructura molecular radicales ácidos o básicos que pueden ser intercambiados. Los iones positivos o negativos fijados en estos radicales serán reemplazados por iones del mismo signo en solución en el líquido en contacto con ellos.

El intercambio iónico es completado sin deterioración o solubilización y sin cambiar el número total de iones en el líquido antes del intercambio.

Hoy en día, las sustancias de los intercambiadores de iones son usadas casi exclusivamente sobre el nombre de resinas o zeolitas. Hay dos categorías de resinas: las resinas del tipo gel y las de macroporos o de tipo de unión cruzada suelta. Sus estructuras básicas son prácticamente las mismas: la estructura de macromolécula es obtenida en ambos casos por copolimerización. La diferencia entre ellas reposa en sus porosidades:

Las resinas tipo Gel tienen una porosidad natural limitada entre las distancias intermoleculares. Esta es una estructura tipo microporo.

Las resinas tipo Macroporo tienen una porosidad artificial adicional la cual es obtenida por la adición de sustancias diseñadas para esta proposición.

Pueden utilizarse casi indefinidamente alternando el uso y la regeneración con la solución de cloruro de sodio y el lavado. La estructura altamente porosa de las

zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras. Siempre hay que reponer una cierta cantidad de zeolita ya que se desintegra cierta cantidad, especialmente si se utiliza agua caliente o si se deja que la zeolita se agote demasiado antes de la regeneración.

2.3 Selección de alternativas del proceso.

Debido a lo mencionado anteriormente, se procede a realizar la selección del proceso en función de ciertos parámetros de importancia, calificados con ciertos porcentajes de acuerdo a criterios conversados con los trabajadores de la empresa: Riesgo para el personal, un factor importante debido a que se trata de prevenir los accidentes para el personal, siendo éste un objetivo global en la empresa; costos, se debe tratar de reducir los costos de instalación de los equipos y del mantenimiento de los mismos a lo largo del tiempo; y rendimiento, el factor más importante, debido a que se obtendrán mejores resultados en menos tiempo y menos inversión.

A continuación se pone a consideración la matriz de decisión para la selección de los métodos de tratamiento requeridos.

Tabla II-3.
Selección del método de ablandamiento.

Factores	%	Ósmosis Inversa		Intercambio Iónico	
Riesgo para el personal	35	5	175	5	175
Costo	25	3	75	5	125
Rendimiento	40	5	200	5	200
Total	100		450		500

Parámetros	
1	Malo
2	Regular
3	Bueno
4	Muy Bueno
5	Excelente

Fuente: Elaboración Propia

La calificación de los parámetros mostrados en la Tabla II-3 es tomada mediante la escala de Likert, en la que existen 5 tipos de respuestas, también especificadas en la tabla.

El método escogido es el de intercambio iónico, debido a que los costos de instalación y mantenimiento son menores en comparación con el proceso de ósmosis inversa.

2.4 Definición de condiciones y capacidad.

Los ablandadores de agua por intercambio iónico son el método más eficiente y económico para eliminar la dureza del agua, causante del sarro, tanto en el hogar como en la industria.

El principio sobre el que opera es bastante simple, un ablandador por intercambio iónico reemplaza los iones de calcio y magnesio presentes en el agua por iones mucho más benignos, en general de sodio. Este proceso elimina completamente la

causa del problema (eliminando los minerales perjudiciales) y previene la formación y el depósito de sarro en grifería, cañerías, termo tanques, calderas, etc.

El intercambio de iones se produce cuando el agua pasa a través un tanque lleno de pequeñas esferas hechas de un polímero orgánico insoluble, conocidas como resina de intercambio iónico.

Las esferas, que tienen una carga eléctrica negativa, atraen a los iones de calcio, magnesio y hierro presentes en el agua, que tienen una carga positiva.

Después de haber despojado varios miles de litros de agua de minerales perjudiciales, la resina comienza a saturarse. En este momento, el ablandador necesita entrar en un ciclo de regeneración de la resina para seguir funcionando correctamente.

Las distintas etapas del proceso de ablandamiento son:

1. Durante una primera fase el agua atraviesa el lecho de resina, donde pierde sus iones de calcio y magnesio, sustituyéndolos por iones de sodio.
2. Cuando la resina está saturada, se favorece su desbloqueo por una corriente de agua a fin de facilitar la regeneración.
3. En esta tercera etapa, se hace pasar lentamente la salmuera a través del lecho de resinas, se obtiene una solución salina de sales de calcio y magnesio, y la resina se encuentra nuevamente cargada de sodio.
4. En una cuarta etapa, un lavado permite eliminar la salmuera remanente en el lecho y deja el aparato preparado para un nuevo ciclo.

Los equipos automáticos realizan estas operaciones en forma autónoma, calibrando el período entre regeneraciones por tiempo o por caudal (a través de un caudalímetro incorporado). De esta manera se optimiza al máximo el consumo de sal y funcionamiento del equipo.

Las ventajas de este método son:

1. En una sola operación se elimina la totalidad de la dureza (se evita la formación de incrustaciones, comúnmente llamado sarro).
2. Ausencia de pérdida de carga.
3. Ausencia de dureza.
4. Tecnología de primer nivel: "Tratamiento Limpio".
5. Reduce importantes costos de operación y disposición.
6. Producción de sistemas automatizados, mediciones más controladas y confiables, espacios reducidos, flujos y calidades constantes.

La planta CBN S.A. cuenta con dos calderas humotubulares generadoras de vapor sobrecalentado a 180°C de temperatura y una presión de trabajo de 4 bares, cuyo flujo es de 1000kg/h cada una, este vapor se emplea en el área de cocimiento y envasado durante el cocimiento de la malta y pasteurización de la cerveza.

En consecuencia, debido a que el manual de funcionamiento de la caldera exige que los parámetros fisicoquímicos del agua a la entrada a la misma tengan los valores mostrados en la Tabla II-1, se trata la cantidad de agua requerida por la caldera para generar vapor en diez horas de producción diarias, es decir 20000 kilogramos de agua al día o 1000 kilogramos por hora de producción por cada caldera.

Debido a lo mencionado anteriormente, el sistema debe diseñarse para obtener 2000 kilogramos por hora de producción, o 20000 kilogramos por día de agua tratada a partir de agua de pozo para caldero.

2.5 Selección de los equipos

Debido a lo mencionado en los puntos anteriores, se pretende realizar el diseño de dos columnas de ablandamiento, con una torre de regeneración, de tal manera que durante el ablandamiento del caudal requerido por las calderas, una torre se encuentre en stand by, mientras la otra realice el ablandamiento. Una vez saturada la torre en uso,

pueda procederse a la regeneración de la misma, cambiando el curso del caudal hacia la segunda torre.

Las torres que se pretenden diseñar, serán de polímero, cerámico, o acero inoxidable galvanizado, de esta manera se evita la reacción de la resina y el agua con cualquier tipo de metales.

Así mismo, se realizará el diseño de la torre de regeneración, el agitador de la misma, una bomba dosificadora de salmuera a la torre y un tanque pulmón para el almacenamiento del agua tratada.

CAPÍTULO III

Desarrollo e Ingeniería del Proceso

CAPÍTULO III

Desarrollo e Ingeniería del Proceso

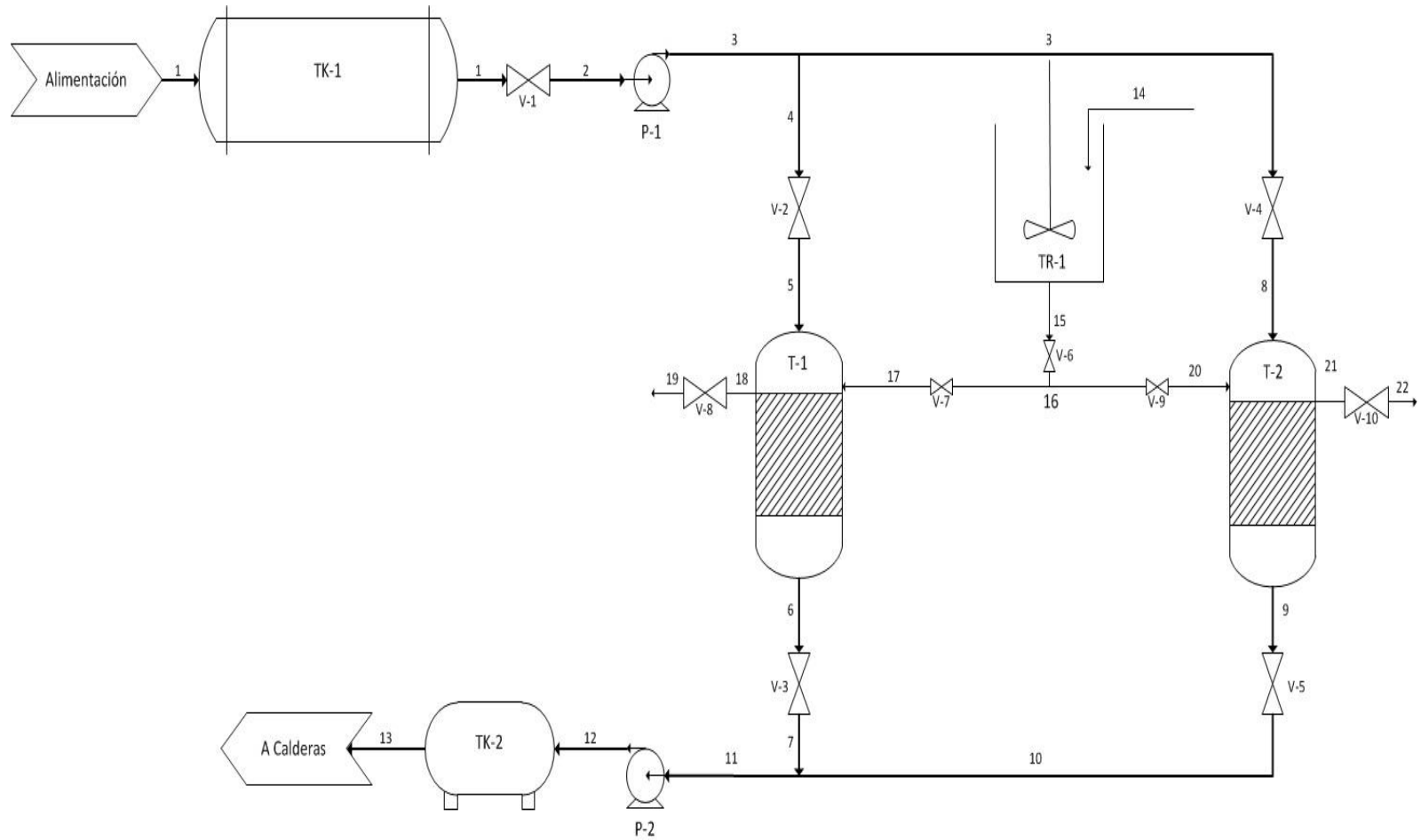
3.1 Diagrama de flujo del proceso

El proceso escogido es el de intercambio iónico debido a las ventajas mostradas en el punto 2.2 y al análisis de los parámetros de importancia expresados en la Tabla II-3.

Responde al siguiente diagrama de flujo, donde se muestran las corrientes y los equipos necesarios para la instalación del mismo.

Diagrama III-1.

Diagrama de Flujo del Proceso



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla, se muestran los códigos de los equipos presentados en el diagrama, con su descripción respectiva.

Tabla III-1.
Descripción de los Equipos Existentes en el Diagrama

Código	Descripción
TK-1	Tanque pulmón de agua de pozo
TK-2	Tanque pulmón de agua tratada
P-1	Bomba de transporte de agua a los ablandadores
P-2	Bomba de transporte de agua tratada
T-1	Torre de ablandamiento 1
T-2	Torre de ablandamiento 2
TR-1	Tanque de salmuera para regeneración

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra el detalle de las corrientes existentes en el diagrama de flujo, y su descripción en el proceso.

Tabla III-2.
Descripción de las Corrientes Existentes en el Diagrama

Corrientes	Descripción
Alimentación	Corriente de agua desde el tanque principal
1	Corriente de agua desde el tanque principal
2	Salida del tanque para la bomba de distribución a la torre de ablandamiento
3	Salida de la bomba de distribución a la torre de ablandamiento
4	Entrada de agua dura a la primera torre de ablandamiento
5	Entrada de agua dura a la primera torre de ablandamiento
6	Salida de agua blanda
7	Salida de agua blanda
8	Entrada de agua dura a la segunda torre de ablandamiento
9	Salida de agua blanda
10	Salida de agua blanda
11	Entrada de agua blanda al tanque de almacenamiento de agua blanda
12	Entrada de agua blanda al tanque de almacenamiento de agua blanda
13	Salida de agua blanda a las calderas para generación de vapor
14	Dosificación de Cloruro de Sodio
15	Salida de solución saturada de cloruro de sodio
16	Salida de solución saturada de cloruro de sodio
17	Entrada de solución saturada de cloruro de sodio para regeneración de resina del primer ablandador
18	Salida de la salmuera agotada
19	Salida de la salmuera agotada, para descarte
20	Entrada de solución saturada de cloruro de sodio para regeneración de resina del segundo ablandador
21	Salida de la salmuera agotada
22	Salida de la salmuera agotada, para descarte

Fuente: Elaboración Propia

El agua de alimentación es la materia prima previamente caracterizada y cuantificada en los puntos 2.1 y 2.4 del capítulo II.

3.2 Localización de los equipos

En función de ciertos parámetros de interés, es que se realiza una selección del lugar para la ejecución del proyecto:

Figura 3-1.

Posibles Localizaciones para Ejecución del Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

La selección de la localización se la hace en función a los parámetros de mayor importancia: cercanía a la caldera, disponibilidad de terreno, impacto ambiental, disponibilidad de electricidad y proximidad al tanque pulmón, calificados de acuerdo al criterio de los empleados y supervisores de la Cervecería.

Los lugares escogidos son A: la sala de máquinas y B: salida del tanque pulmón, ambos lugares propuestos por personal de la Cervecería. Los parámetros están

expresados en una matriz de decisión, calificados según criterio propio, de esta manera:

**Tabla III-3.
Matriz de Decisión para Localización**

Factores	%	A			B		
Proximidad a tanque pulmón	20	Regular	2	40	Muy Bueno	4	80
Proximidad a la caldera	30	Muy Bueno	4	120	Regular	2	60
Disponibilidad de terreno	15	Bueno	3	45	Bueno	3	45
Impacto Ambiental	15	Muy Bueno	4	60	Regular	2	30
Electricidad	20	Muy Bueno	4	80	Muy Bueno	4	80
Total				345			295

Parámetros	
1	Malo
2	Regular
3	Bueno
4	Muy Bueno
5	Excelente

Fuente: Elaboración Propia

La calificación de los parámetros mostrados en la Tabla I II-3 es tomada mediante la escala de Likert, en la que existen 5 tipos de respuestas, también especificadas en la tabla.

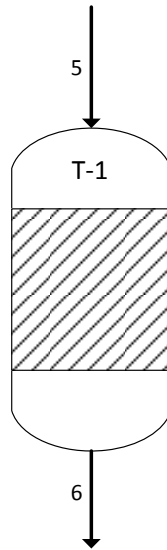
Una vez evaluados los parámetros, se observa que el lugar más adecuado para la elaboración del proyecto es la sala de máquinas.

3.3 Balance de Materia y Energía

3.3.1 Balance para el Ablandador

Figura 3-2.

Balance para el Ablandador



Fuente: Elaboración Propia.

El balance para el ablandador se realiza en las corrientes mostradas en la figura 3-2, que es extraída del diagrama de flujo principal, correspondiente al proceso escogido.

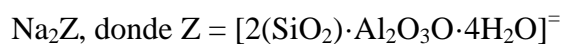
La corriente 5 corresponde a la cantidad de agua dura que entra al sistema de ablandamiento, la corriente 6 corresponde a la salida de agua tratada, que será circulada a un tanque pulmón de almacenamiento de agua tratada, para luego ser dirigido a las calderas.

Se pretenden tratar 20000 kilogramos de agua por día, con el fin de generar la cantidad de vapor suficiente para abastecer en planta, es así que:

$$\delta M_5 = \delta M_6 = 20000 \text{ kg/día}$$

Para eliminar la dureza total y la dureza cálcica se debe realizar un ablandamiento con zeolitas, también llamadas resinas ablandadoras, la cantidad de zeolita a utilizar está en función de la dureza del agua.

Para el caso, la zeolita seleccionada es un silicato de sodio y aluminio, cuya fórmula química es $2(\text{SiO}_2) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, debido a la propiedad de absorber el calcio y el magnesio de las aguas que atraviesan y a que no forma precipitado. Ver Anexo 2 Debido a su estructura química tan grande, la zeolita es resumida en la siguiente fórmula:



Las reacciones de intercambio iónico que suceden en el agua son las siguientes:

1. $\text{Na}_2\text{Z} + \text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaZ} + \text{Na}_2\text{CO}_3$
2. $\text{Na}_2\text{Z} + \text{MgCO}_3 \longrightarrow \text{MgZ} + \text{Na}_2\text{CO}_3$

Como se recomienda regenerar la resina mediante retro lavado cada tres días, se realiza el balance para 60000 kilogramos de agua, que sería la cantidad de agua que se debe tratar en tres días de producción de vapor, de esta manera, se debe calcular la cantidad de zeolita para ablandar 60000 kg de agua con una dureza cálcica de 27,72 mg/kg y una dureza total de 66,4 mg/kg.

Para eliminar el calcio:

$$M_{\text{Na}_2\text{Z}} = 356 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{CaCO}_3} = 100 \text{ g/mol}$$

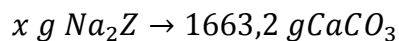
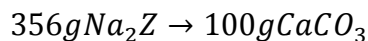
$$m_{ca} = 27,72 \frac{\text{mgCaCO}_3}{\text{kg}} \times 60000 \text{ kg}$$

$$m_{ca} = 1663200 \frac{\text{mgCaCO}_3}{\text{día}}$$

$$m_{ca} = 1663200 \text{ mgCaCO}_3 \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}}$$

$$m_{ca} = 1663,2 \text{ mgCaCO}_3$$

Para tratar 100 gramos de CaCO_3 en un intercambio iónico se necesitan 356 g de zeolita:



$$x = \frac{(1663,2 \text{ gCaCO}_3)(356 \text{ gNa}_2\text{Z})}{(100 \text{ gCaCO}_3)}$$

$$x = 5920,992 \text{ gNa}_2\text{Z}$$

Para remover todo el calcio del agua en el ablandador, en tres días de producción se necesitaran 5920,992 gramos de Na_2Z .

Para remover el magnesio:

Dureza total = Dureza Mg + Dureza Ca

Dureza Mg = Dureza total – Dureza Ca

Dureza Mg = 66,4mg/kg – 27,72mg/kg

Dureza Mg = 38,68 mg/kg

$M_{Na_2Z} = 356$ g/mol

$M_{MgCO_3} = 84$ g/mol

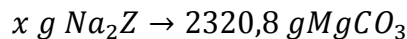
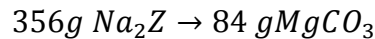
$$m_{Mg} = 38,68 \frac{mgMgCO_3}{kg} \times 60000kg$$

$$m_{Mg} = 2320800 mgMgCO_3$$

$$m_{Mg} = 2320800 mgMgCO_3 \times \frac{1g}{1000mg}$$

$$m_{Mg} = 2320,8 mgMgCO_3$$

Para remover el magnesio del agua:



$$x = \frac{(2320,8 gMgCO_3)(356 g Na_2Z)}{(84 gMgCO_3)}$$

$$x = 9835,7714 gNa_2Z$$

Para eliminar la dureza magnésica del agua en la caldera se deben usar 9835,7714 gramos de zeolitas por cada 60000 kilogramos de agua que ingresan en la corriente.

El total de zeolitas a utilizar, en tres días de producción será:

$$m_{Na_2Z} = m_{Na_2Z \text{ Para Calcio}} + m_{Na_2Z \text{ Para Magnesio}}$$

$$m_{Na_2Z} = 5920,992 gNa_2Z + 9835,7714 gNa_2Z$$

$$m_{Na_2Z} = 15756,763 gNa_2Z$$

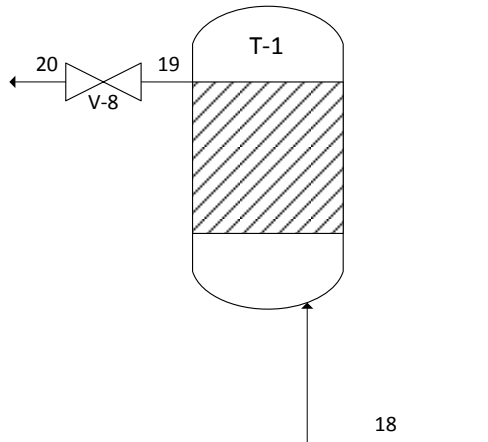
$$m_{Na_2Z} = 15,756 kgNa_2Z$$

Debido a la facilidad de pesaje se recomienda utilizar 16 kilogramos para mejorar la calidad del agua.

3.3.2 Balance para la Regeneración

Figura 3-3.

Balance para la Regeneración



Fuente: Elaboración Propia

En el balance para la regeneración, que se muestra en la figura 3-3, es extraído del diagrama de flujo principal (Diagrama 3-1), que corresponde a la regeneración de las resinas de intercambio iónico, mediante salmuera, previamente preparada en un tanque agitado. La corriente 18 es la entrada de la salmuera concentrada, la 19 la corriente de salmuera agotada, y la corriente 20 corresponde a la salmuera agotada para descarte.

$$\delta M_{18} = \delta M_{19} = \delta M_{20} = 3,611 \times 10^{-3} m^3 / \text{día}$$

Para regenerar las zeolitas, se debe realizar un retro lavado de la torre de regeneración con salmuera.

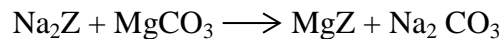
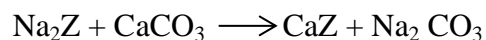
Para el caso de la zeolita seleccionada, la salmuera será de cloruro de sodio, cuya fórmula química es NaCl.

Las reacciones de intercambio iónico que suceden en el agua son las siguientes:

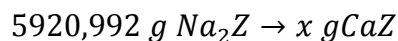
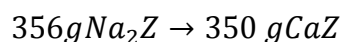
1. $\text{CaZ} + 2 \text{ClNa} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{Z}$
2. $\text{MgZ} + 2 \text{ClNa} \longrightarrow \text{MgCl}_2 + \text{Na}_2\text{Z}$

Se debe calcular la cantidad de sal para regenerar 16 kilogramos de zeolita saturada.

Antes de cuantificar la cantidad de sal utilizada, se debe cuantificar la cantidad de calcio y de magnesio, en forma de sal, que fue atrapado por la zeolita:



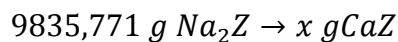
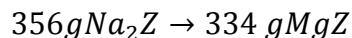
A partir de 356 gramos de zeolita, se forman 350 gramos de sal de calcio:



$$x = \frac{(5920,992\text{gNa}_2\text{Z})(350\text{gCaZ})}{(356\text{gNa}_2\text{Z})}$$

$$x = 5821,2\text{gCaZ}$$

A partir de 356 gramos de zeolita, se forman 334 gramos de sal de magnesio:

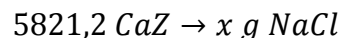
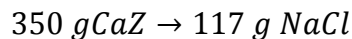


$$x = \frac{(9835,771\text{gNa}_2\text{Z})(334\text{gMgZ})}{(356\text{gNa}_2\text{Z})}$$

$$x = 9227,943\text{gMgZ}$$

Una vez cuantificada la cantidad de calcio y magnesio existentes en la zeolita, se calcula la cantidad de sal que se utilizará para su regeneración, a partir de las reacciones químicas anteriormente señaladas.

A partir de 350 gramos de zeolita saturada en calcio, reaccionan 117 gramos de cloruro de sodio:



$$x = \frac{(5821,2\text{gCaZ})(117\text{gNaCl})}{(350\text{gCaZ})}$$

$$x = 1945,944\text{gNaCl}$$

A partir de 334 gramos de zeolita saturada en magnesio, reaccionan 117 gramos de cloruro de sodio:

$$\begin{aligned}
 334 \text{ g MgZ} &\rightarrow 117 \text{ g NaCl} \\
 9227,943 \text{ g MgZ} &\rightarrow x \text{ g NaCl} \\
 x &= \frac{(9227,943 \text{ g MgZ})(117 \text{ g NaCl})}{(334 \text{ g MgZ})} \\
 x &= 3232,543 \text{ g NaCl}
 \end{aligned}$$

El total de sal a utilizar será:

El total de zeolitas a utilizar, en un día de regeneración será:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{NaCl}} &= m_{\text{NaCl Para Calcio}} + m_{\text{NaCl Para Magnesio}} \\
 m_{\text{Na}_2\text{Z}} &= 1945,944 \text{ g Na}_2\text{Z} + 3232,543 \text{ g Na}_2\text{Z} \\
 m_{\text{Na}_2\text{Z}} &= 5178,487 \text{ g Na}_2\text{Z} \\
 m_{\text{Na}_2\text{Z}} &= 5,178 \text{ kg Na}_2\text{Z}
 \end{aligned}$$

Debido a la facilidad de pesaje se recomienda utilizar 5,2 kilogramos para regenerar toda la resina.

Para obtener una solución concentrada de cloruro de sodio, se pueden disolver hasta 36 gramos de la sal en 100 mililitros de agua, de esta manera:

$$\begin{aligned}
 36 \text{ g NaCl} &\rightarrow 100 \text{ ml H}_2\text{O} \\
 5200 \text{ g NaCl} &\rightarrow x \text{ ml H}_2\text{O} \\
 x &= \frac{(5200 \text{ g NaCl})(100 \text{ g H}_2\text{O})}{(36 \text{ g NaCl})} \\
 x &= 14444,44 \text{ ml H}_2\text{O} \\
 x &= 14,44 \text{ L H}_2\text{O}
 \end{aligned}$$

3.4 Diseño y dimensionamiento de los equipos necesarios.

3.4.1 Diseño del Ablandador

Para el dimensionamiento del ablandador se debe calcular el volumen que ocupan las zeolitas:

$$\rho_{zeolita} = \frac{m_{zeolitas}}{V_{zeolitas}}$$

La densidad de la roca es de 2200 kg/m³ y la masa de zeolita a utilizar es de 16 kilogramos por cada 60000 kilogramos de agua a tratar:

$$V_{zeolita} = \frac{m_{zeolitas}}{\rho_{zeolitas}}$$

$$V_{zeolita} = \frac{16kg}{2200 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{zeolita} = 7,27 \times 10^{-3} m^3$$

El cálculo de la porosidad está dado por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{(\rho_P - \rho_A)}{\rho_P}$$

Dónde:

ε = Porosidad

ρ_P = Densidad de la partícula

ρ_A = Densidad aparente

La densidad de la partícula es $\rho_P = 2200 \text{ kg/m}^3$.

La densidad aparente se calcula en función del diámetro de la partícula.

Para evitar una caída de presión mayor y para favorecer el contacto del agua con la zeolita se usan partículas de diámetro entre 8 y 16 milímetros, cuya densidad aparente es

$\rho_A = 0,71 \text{ g/cm}^3$.

$$\rho_A = 0,71 \frac{g}{cm^3} \times \frac{1000000cm^3}{1m^3} \times \frac{1kg}{1000g}$$

$$\rho_A = 710 \frac{kg}{m^3}$$

Entonces, la porosidad es:

$$\varepsilon = \frac{(\rho_P - \rho_A)}{\rho_P}$$

$$\varepsilon = \frac{\left(2200 \frac{kg}{m^3} - 710 \frac{kg}{m^3}\right)}{2200 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\varepsilon = 0,677$$

El volumen de empaque está dado por la siguiente fórmula:

$$V_{Empaque} = \frac{V_{Zeolitas}}{\varepsilon}$$

$$V_{Empaque} = \frac{7,27 \times 10^{-3} m^3}{0,677}$$

$$V_{Empaque} = 1,07 \times 10^{-2} m^3$$

Para que exista una circulación correcta del agua en todo el empaque, se debe sobredimensionar un 40% el equipo:

$$V_{Real} = (1,07 \times 10^{-2} m^3) + (0,4 * 1,07 \times 10^{-2} m^3)$$

$$V_{Real} = 0,015 m^3$$

El diseño del ablandador se realizará con una relación de diámetro-altura de 1:10 respectivamente.

De acuerdo a la fórmula y considerando un tanque cilíndrico:

$$V = h \times A$$

$$V = h \times \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \right)$$

Considerando que la altura es 10 veces el diámetro se tiene que:

$$V = 10D \times \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \right)$$

$$V = \frac{10 \times \pi}{4} \times D^3$$

Entonces el diámetro será:

$$D^3 = \frac{4 \times V}{10 \times \pi}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times (0,015 \text{ m}^3)}{10 \times \pi}}$$

$$D = 0,124 \text{ m}$$

Si:

$$h = 10D$$

$$h = 10 \times (0,124\text{m})$$

$$h = 1,24 \text{ m}$$

El ablandador tendrá 0,124 metros de diámetro y 1,24 metros de altura.

3.4.2 Diseño del Tanque de Sal de Regeneración

El tanque de salmuera se diseña en función del volumen de solución que se obtiene al disolver el cloruro de sodio en el agua, calculado anteriormente:

Debe diseñarse para un volumen de salmuera de $0,01444\text{m}^3$.

Se sobredimensiona el volumen del tanque de regeneración en un 40% para darle el rebalse necesario al momento de disolver la sal y evitar salpicaduras y pérdidas de salmuera.

$$V_{Real} = (0,0144 \text{ m}^3) + (0,4 * 0,0144 \text{ m}^3)$$

$$V_{Real} = 0,02 \text{ m}^3$$

El diseño del ablandador se realizará con una relación de diámetro-altura de 1:3 respectivamente:

De acuerdo a la fórmula y considerando un tanque cilíndrico:

$$V = h \times A$$

$$V = h \times \left(\frac{\pi}{4} \times D^2\right)$$

Considerando que la altura es 3 veces el diámetro se tiene que:

$$V = 3D \times \left(\frac{\pi}{4} \times D^2\right)$$

$$V = \frac{3 \times \pi}{4} \times D^3$$

Entonces el diámetro será:

$$D^3 = \frac{4 \times V}{3 \times \pi}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times (0,02 \text{ m}^3)}{3 \times \pi}}$$

$$D = 0,21 \text{ m}$$

Si:

$$h = 3D$$

$$h = 3 \times (0,21\text{m})$$

$$h = 0,63 \text{ m}$$

3.4.3 Diseño del Agitador

Con el fin de proporcionar una correcta agitación al tanque, de tal manera que la sal se disuelva de forma uniforme en todo el fluido, se realiza el diseño de un agitador de turbina axial de 4 paletas con ángulo de 60°. Ver Anexo 3.

$$\frac{D_t}{D_i} = 3$$

Dónde:

D_t = Diámetro del tanque (m)

D_i = Diámetro del rodete (m)

Como se conoce el diámetro del tanque es posible calcular el diámetro del rodete:

$$\frac{D_t}{D_i} = 3$$

$$D_i = \frac{D_t}{3}$$

$$D_i = \frac{0,204\text{m}}{3}$$

$$D_i = 0,067 \text{ m}$$

El ancho de las hojas está dado por:

$$\frac{W}{D_i} = 0,25$$

Dónde:

W= Ancho de la hoja

D_i= Diámetro del rodete

Se calcula el ancho de la hoja

$$W = 0,25 \times D_i$$

$$W = 0,25 \times 0,067 \text{ m}$$

$$W = 0,017 \text{ m} = 1,7 \text{ cm}$$

Se recomienda una velocidad de agitación de 100 rpm.

El cálculo de la potencia necesaria para mover el agitador se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{P_o \times \rho \times N^3 \times D_i^5}{g}$$

Dónde:

P= Potencia necesaria

P_o= Número de potencia

ρ= Densidad del fluido

N= Velocidad de rotación del agitador en rps

D_i = Diámetro del rodete

g = Gravedad

P_o se determina en función del número de Reynolds y el consumo de energía de diversos agitadores.

El número de Reynolds se calcula con la siguiente expresión:

$$Re = \frac{N \times D_i^2 \times \rho}{\mu}$$

La velocidad de rotación en rps será:

$$N = 100 \frac{rev}{min} \times \frac{1min}{60s}$$

$$N = 1,67rps$$

Entonces el número de Reynolds:

$$Re = \frac{(1,67 \text{ 1/s}) \times (0,067m)^2 \times (1000 \text{ kg/h})}{1 \times 10^{-3} Pa \cdot s}$$

$$Re = 7407,4074$$

Con este valor, se obtiene P_o en tablas.

$$P_o = 1,6$$

Entonces:

$$P = \frac{P_o \times \rho \times N^3 \times D_i^5}{g}$$

$$P = \frac{1,6 \times (1000 \text{ kg/h}) \times (1,67 \text{ 1/s})^3 \times 0,067m^5}{9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$P = 9,9 \times 10^{-4} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} \times \frac{9,8W}{1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}} \times \frac{1\text{kW}}{1000W}$$

$$P = 9,74 \times 10^{-6} \text{kW}$$

3.4.4 Diseño del sistema de dosificación de salmuera

Debido al volumen de solución salina que debe pasar al ablandador para su regeneración, que ha sido calculado en el punto 3.3.2, Balance para la Regeneración, se recomienda que para vencer la presión existente en los tanques ablandadores se instale el tanque de regeneración de salmuera a una altura de 1,25 metros, de esta forma la caída del fluido será por gravedad, activando su paso a través de los ablandadores mediante una válvula globo de apertura manual.

3.4.5 Diseño del Tanque Pulmón de Agua Tratada

Se realiza el diseño de un tanque pulmón para poder almacenar el agua tratada, para poderla pasar a las calderas. Este tanque se diseñará para 20 metros cúbicos, que es la cantidad de agua requerida en planta para un día de producción.

El diseño del tanque se realizará con una relación de altura- diámetro de 1:3 respectivamente:

De acuerdo a la fórmula y considerando un tanque cilíndrico:

$$V = h \times A$$

$$V = h \times \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \right)$$

Considerando que la altura es 3 veces el diámetro se tiene que:

$$V = 3D \times \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \right)$$

$$V = \frac{3 \times \pi}{4} \times D^3$$

Entonces el diámetro será:

$$D^3 = \frac{4 \times V}{3 \times \pi}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times (20 \text{ m}^3)}{3 \times \pi}}$$

$$D = 2,04 \text{ m}$$

Si:

$$h = 3 \times D$$

$$h = 3 \times (2,04 \text{ m})$$

$$h = 6,12 \text{ m}$$

3.5 Especificación de los equipos necesarios.

A continuación se muestran las características de los equipos diseñados en el punto 3.3, con el fin de realizar una correcta cotización de los mismos y a su vez efectuar una óptima construcción.

Tabla III-4.
Características de los Equipos Necesarios

Equipo	Características	
Ablandador	Volumen (m ³)	0,015
	Diámetro (m)	0,124
	Altura (m)	1,24
	Resina (kg)	16,00
Tanque de salmuera	Volumen (m ³)	0,02
	Diámetro (m)	0,21
	Altura (m)	0,63
	Cloruro de Sodio (kg)	5,20
	Agua (L)	14,44
Agitador	Diámetro del rodete (m)	0,067
	Ancho de las hojas (m)	0,017
	Potencia real (kW)	9,74E-06
	Potencia comercial (kW)	1,00
Tanque Pulmón de Agua tratada	Volumen (m ³)	20,00
	Diametro (m)	2,04
	Altura (m)	6,12
	Tipo de tanque	Cilíndrico vertical

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1 Ablandador

El ablandador tiene un volumen útil de 0,015 metros cúbicos, se construirá con tubería de polímero con el fin de eliminar posibles reacciones de la resina de intercambio iónico con el metal, la altura del equipo es de 1,24 metros, el diámetro recomendado es 12,4 centímetros, es decir 4,88 pulgadas, por razones comerciales, es que se construirá de 6 pulgadas. El equipo estará relleno de 16 kilogramos de zeolitas, que podrán realizar el ablandamiento de 60 metros cúbicos de agua. Se construirán dos equipos de las mismas magnitudes, de tal forma que se pueda realizar ablandamiento continuo del agua para generación de vapor.

3.5.2 Tanque de Salmuera

Este tanque cuenta con un volumen útil de 0,02 metros cúbicos, construido de acero inoxidable resistente, de $\frac{3}{4}$ de pulgada de espesor, tiene un diámetro de 0,21 metros y una altura de 0,63 metros. En este tanque se realizará la solución de Cloruro de Sodio, para proceder a la regeneración de las resinas.

3.5.3 Agitador

El agitador que se diseña es un agitador simple, de 4 paletas con ángulo de 60 grados entre una y otra. El motor de este agitador es de 1 kW, con el fin de proporcionar una correcta agitación a la salmuera.

3.5.4 Tanque Pulmón de Agua Tratada

Este tanque se diseña para el almacenamiento de 20 metros cúbicos de agua tratada, el tipo de tanque que se pretende diseñar es cilíndrico vertical, de un diámetro de 2,04 metros y 6,12 metros de altura, de paredes de $\frac{3}{4}$ de pulgada de espesor, de acero inoxidable resistente.

CAPÍTULO IV
Análisis Económico

CAPÍTULO IV

Análisis Económico

4.1 Realización del estudio de costos para la instalación de la planta seleccionada.

El estudio de costos de la planta de tratamiento de aguas, estuvo basado principalmente en la estimación de los costos de construcción e instalación de los equipos principales, a partir de los cuales se estima el costo total de la inversión empleando el método costo beneficio.

El costo de los equipos seleccionados se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla IV-1.
Costos de los Equipos Necesarios

ITEM	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)	Precio Unitario (\$US)	Precio Total (\$US)
1	Tanque Ablandador	2	45000	45000	6465,5	6465,5
2	Tanque de Salmuera	1	39400	39400	5660,9	5660,9
3	Tanque Pulmón Agua Tratada	1	305000	305000	43821,8	43821,8
TOTAL:				389400		55948,3

Fuente: Elaboración Propia.

El costo de instalación, mano de obra y costos indirectos se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla IV-2.
Costos de Montaje

ITEM	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)	Precio Unitario (\$US)	Precio Total (\$US)
1	“Faenas de Montaje de Maquinas e Instalación de circuitos de Tuberías y Válvulas”	1	180000	180000	25862,1	25862,1
2	Resinas de Ablandamiento (12,5 kg)	3	1400	4200	201,1	603,3
TOTAL:				184200		26465,4

Fuente: Elaboración Propia.

La inversión total del proyecto es de 573600 Bolivianos o 82413,8 Dólares Americanos.

Ver Anexo 4

El costo actual del mantenimiento de las calderas en un año se puede observar resumido en la siguiente tabla:

Tabla IV-3.
Costos de Mantenimiento Actual de las Calderas

	Mantenimiento por año	
	Bolivianos	Detalle
Mantenimiento anual de las calderas	3030	Productos químicos (Desincrustante)
	5983	Reparación de Equipos
	30000	Mano de Obra Directa
	21405	Técnicos para Reparación
Costo Total de Mantenimiento	60418	Bolivianos por Año

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la tabla IV-3, los gastos por productos químicos refieren a tres cajas de desincrustante WetBoil que se utilizan anualmente en las paradas de mantenimiento para eliminar el sarro depositado en las tuberías de las calderas.

Los gastos de reparación de equipos se refieren a repuestos adquiridos para el cambio durante todo el año. Cabe resaltar que éste es un valor constante, debido a que el mantenimiento planificado contempla gastos de este tipo en el presupuesto.

La mano de obra directa y los técnicos para reparación contemplan el pago del salario de un operador que se dedica exclusivamente al mantenimiento de la caldera durante todo el año y tres técnicos especializados en reparación de calderas.

El costo aproximado del mantenimiento de las calderas, una vez instalada la planta de acondicionamiento se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla IV-4.
Costos de Mantenimiento Estimado de las Calderas

	Mantenimiento por año	
	Bolivianos	Detalle
Mantenimiento Anual Estimado de las Calderas	840	Productos químicos (Resina de intercambio)
	500	Productos químicos (ClNa para Regeneración)
	505	Productos químicos (Limpieza)
	8000	Mano de Obra Directa
	5983	Reparación de Equipos
	33791,05	Interés anual de la inversión.
	7135	Técnicos para Reparación
	Costo Total de Mantenimiento	56754,05

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la Tabla IV-4, el valor detallado como producto químico (resina de intercambio) se refiere al costo de la resina que se debe reemplazar en el ablandador por desgaste, está calculado en función a la cantidad de resina en el ablandador, y el costo de la misma, sabiendo que toda la resina del ablandador será reemplazada en 5 años, según datos del proveedor.

El valor detallado como productos químicos (ClNa para regeneración) refiere al gasto que se realizará al comprar cloruro de sodio para regenerar las torres de ablandamiento y proporcionar un correcto funcionamiento de las mismas.

Los gastos de productos químicos para limpieza, refieren a la compra del mismo desincrustante WetBoil, siendo éste utilizado en una frecuencia de tiempo menor en comparación al sistema actual existente en planta.

La mano de obra directa y los técnicos para reparación representan el salario de un operador que se dedica a la limpieza de la caldera exclusivamente en un año y el sueldo de un técnico especializado en mantenimiento y reparación de las calderas.

El interés anual de la inversión contempla el interés que debería pagarse anualmente por la inversión realizada tomando como referencia un crédito de tipo industrial tomado en una entidad financiera que ofrece sus servicios con un 6% de interés anual, a 10 años plazo.

Ver Anexo 5.

Luego del tiempo mencionado este monto de dinero dejaría de ser un costo, ya que, se habría concluido el pago del préstamo mencionado, de esta manera, los costos de mantenimiento luego de 10 años de instalada la planta de acondicionamiento se detallan en la siguiente tabla:

Tabla IV-5.
Costos de Mantenimiento Estimado de las Calderas Después de 10 años de instalada la planta

	Mantenimiento por año	
	Bolivianos	Detalle
Mantenimiento Anual Estimado de las Calderas Después de 10 Años	840	Productos químicos (Resina de intercambio)
	500	Productos químicos (ClNa para Regeneración)
	505	Productos químicos (Limpieza)
	8000	Mano de Obra Directa
	5983	Reparación de Equipos
	7135	Técnicos para Reparación
Costo Total de Mantenimiento	22963	Bolivianos por Año

Fuente: Elaboración Propia.

Los beneficios de la instalación de la planta de acondicionamiento de aguas se ven resumidos en la siguiente tabla:

Tabla IV-6.
Beneficios de la Instalación de la Planta de Acondicionamiento

Beneficios	Monto (Bs.)
Agua Limpia y Acondicionada para Producción de Vapor	3663,95
Mejora de Equipos de Planta en un 100%	113508,1
Incremento de la Vida Útil de la Caldera	13920
Total	131092,05

Fuente: Elaboración Propia.

Los beneficios representados en la tabla IV-6 se pueden describir de la siguiente manera:

El Agua limpia y acondicionada para la producción de vapor se considera la diferencia entre el mantenimiento del método actual y el método de ablandamiento propuesto.

Cabe resaltar, que luego de diez años, el beneficio será mayor, puesto que se dejará de pagar el interés anual de la inversión, por lo que se percibe un beneficio mayor en la diferencia de los mantenimientos entre el método actual y el propuesto, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla IV-7.
Beneficios de la Instalación de la Planta de Acondicionamiento Después de 10 Años de la Instalación

Beneficios	Monto (Bs.)
Agua Limpia y Acondicionada para Producción de Vapor	37455
Mejora de Equipos de Planta en un 100%	45926
Incremento de la Vida Útil de la Caldera	13920
Total	97301

Fuente: Elaboración Propia.

Se considera que los equipos mejorarán su funcionamiento en un 100% por lo que el beneficio se identifica como el doble del costo del mantenimiento, según lo acordado con los analistas de planta.

Así mismo, el incremento de la vida útil de la caldera será de un 50%, según los datos proporcionados por el fabricante.

La relación Beneficio/Costo de la instalación de la Planta de Acondicionamiento está dada de la siguiente manera:

$$\left[\frac{B}{C} \right]_{\text{Estimado}} = \frac{\text{Beneficios de la Instalación de la Planta de Acondicionamiento}}{\text{Costos de Mantenimiento Estimado de Calderas}}$$

De ésta manera:

$$\left[\frac{B}{C}\right]_{Estimado} = \frac{131092,05 Bs.}{56754,05Bs.}$$

$$\left[\frac{B}{C}\right]_{Estimado} = 2,309$$

La relación Beneficio/Costo del mantenimiento actual de las calderas está dado de la siguiente manera:

$$\left[\frac{B}{C}\right]_{Actual} = \frac{\textit{Beneficios de la Instalación de la Planta de Acondicionamiento}}{\textit{Costos de Mantenimiento Actual de Calderas}}$$

$$\left[\frac{B}{C}\right]_{Actual} = \frac{131092,05 Bs.}{60418 Bs.}$$

$$\left[\frac{B}{C}\right]_{Actual} = 2,169$$

Habiendo realizado el análisis Beneficio/Costo para la situación actual y el análisis estimado para la instalación de la planta de acondicionamiento, se puede observar que existe mayor relación en cuanto al manejo de recursos cuando el agua de pozo se somete a tratamiento. Sin embargo, al culminar el pago de los intereses de la instalación de la planta de acondicionamiento, se puede observar un crecimiento de la relación, de esta manera:

$$\left[\frac{B}{C}\right]_{Actual} = \frac{\textit{Beneficios de la Instalación después de 10 años}}{\textit{Costos de Mantenimiento Actual de Calderas}}$$

$$\left[\frac{B}{C}\right]_{Actual} = \frac{97301 Bs.}{22963 Bs.}$$

$$\left[\frac{B}{C}\right]_{Actual} = 4,237$$

Una vez concluido el pago de los intereses se observa que el beneficio de la instalación es 1,83 veces más beneficioso el tener un tratamiento de aguas para la generación de vapor.

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se deben tratar 20 metros cúbicos de agua de pozo para generar vapor suficiente y se puedan cubrir las necesidades de la planta, el promedio de la dureza total del agua es de 54,60 ppm de dureza total, en forma de carbonatos de calcio y magnesio; y una dureza cálcica de 24,51 ppm en forma de carbonato de calcio, dichos valores se ven resumidos en la Tabla II-2. Datos del Agua en CBN S.A. Tarija.
- El proceso escogido es el de intercambio iónico, debido a que el costo es menor y el rendimiento es mayor en comparación con el de ósmosis inversa y a ciertos parámetros expresados en la Tabla II-3. Selección del Método de Ablandamiento.
- El lugar escogido para la localización de la planta de acondicionamiento de aguas se realiza en función de ciertos parámetros evaluados en la Tabla III-3 Matriz de decisión para localización, es así que se decide que la ubicación pertinente es en la sala de máquinas.
- Para obtener la cantidad de agua tratada requerida en planta para generación de vapor se utilizarán 20000 kilogramos de agua por día.
- Se realiza el diseño de 5 equipos:

Un ablandador de las siguientes dimensiones:

Volumen 0,015 m³.

Diámetro 0,124 m.

Altura 1,24 m.

Un tanque de salmuera con las siguientes características:

Volumen 0,02 m³.

Diámetro 0,21 m.

Altura 0,63 m.

Un agitador con las siguientes características:

Diámetro del rodete 0,067 m.

Ancho de las hojas 0,017 m.

Potencia comercial 1,00 kW.

Un tanque pulmón para almacenar agua tratada con las siguientes dimensiones:

Volumen 20,00 m³.

Diámetro 2,04 m.

Altura 6,12 m.

Tipo de tanque:

Cilíndrico vertical.

- La inversión total del proyecto es de 573600 Bolivianos o 82413,8 Dólares Americanos. Una vez instalada la planta, la relación Beneficio Costo sería 1,06 veces mayor a la situación actual en la que no se realiza ningún tratamiento, luego de diez años, la relación Beneficio Costo es 1,83 veces mayor.

5.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar una evaluación en las áreas donde existan condensados recuperables para evitar pérdida de agua tratada, que significa gasto energético y monetario para la empresa.
- Para un mejor desempeño de la planta de acondicionamiento de aguas para generación de vapor, se recomienda que el agua a utilizar en la misma no contenga cloro, debido a la propiedad acidificante del mismo, que evitaría el correcto funcionamiento del tratamiento aplicado.
- La instalación de un medidor de pH en línea entre el tanque de agua tratada y la caldera, es recomendable para conocer el pH de ingreso a la caldera, que debe ser de 8, caso contrario se debe dosificar soda cáustica, ya que las sales siguen siendo solubles en medio alcalino.