



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Implementación de un sistema de recuperación de agua
para optimización de condensadores evaporativos en una
maltería.”**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ALIMENTOS

Presentada por:

Paulo Roberto Rodríguez Molina

GUAYAQUIL –ECUADOR

AÑO: 2014

AGRADECIMIENTO

Siempre primero a Dios, a mis padres por el apoyo y a mi directora por su adecuada guía en el desarrollo de este proyecto.

Paulo Roberto Rodríguez Molina

DEDICATORIA

*A mi familia por estar siempre
a mi lado.*

Paulo Roberto Rodríguez Molina

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ph.D. Kléber Barcia V.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

M.Sc. Haydeé Torres C.
DIRECTORA DEL EXÁMEN COMPLEXIVO

M.Sc. Natasha Coello G.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Examen Complexivo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Paulo Roberto Rodríguez Molina

RESUMEN

El presente trabajo se basó en la oportunidad de aprovechamiento del agua del ambiente con la recuperación del condensado generado por los radiadores en el proceso de germinación. Para así lograr la reducción del consumo de agua utilizada en el sistema de refrigeración, específicamente en los condensadores evaporativos.

Se presentó las condiciones y requerimientos actuales del sistema de refrigeración. Así también se describió como se presentó la oportunidad de recuperación del condensado generado y se realizó un cálculo psicrométrico para pronosticar los volúmenes de recuperación.

Se describió la planeación del sistema para la captación del condensado, y su posterior envío a los condensadores determinando las necesidades del mismo. Una vez instalado el sistema se realizaron pruebas para revisar su funcionamiento.

Con los datos obtenidos de las pruebas se pudo verificar el real ahorro en agua generado después de la implementación de este sistema, y también el impacto financiero obtenido en la planta maltería y finalmente se presentaron la comparación con los pronósticos de volúmenes de agua recuperada y las conclusiones.

INDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | i |
| INDICE GENERAL | ii |
| ABREVIATURAS | iv |
| SIMBOLOGÍA | v |
| INDICE DE FIGURAS..... | vi |
| INDICE DE TABLAS | viii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO 1..... | 3 |
| 1. GENERALIDADES | 3 |
| 1.1 Maltería | 3 |
| 1.1.1 Malta de cebada..... | 5 |
| 1.1.2 Descripción del Proceso Maltero | 9 |
| 1.1.3 Descripción de la planta de Maltería | 17 |
| 1.2 Sistema de Refrigeración | 24 |
| 1.2.1 Generalidades del sistema de refrigeración usado en la planta.. | 25 |
| 1.2.2 Condensadores evaporativos..... | 28 |
| 1.2.3 Características del sistema de refrigeración instalado | 30 |
| CAPITULO 2..... | 32 |
| 2. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE AGUA.. | 32 |
| 2.1 Estimación del agua a recuperar..... | 38 |
| 2.1.1 Enfriamiento de aire en saladines durante germinación. | 38 |

| | |
|--|----|
| 2.1.2 Validación de caudal de aire en ventilador de germinación. | 49 |
| 2.1.3 Agua a recuperar en época de invierno..... | 53 |
| 2.1.4 Agua a recuperar en época de verano. | 65 |
| 2.2 Implementación del sistema de captación de agua | 66 |
| 2.2.1 Determinación de requerimientos de captación de agua en cada saladín. | 67 |
| 2.2.2 Requerimientos de recorrido de líneas de captación y punto de recolección de agua. | 69 |
| 2.2.3 Determinación de requerimientos de líneas de agua hacia los condensadores. | 70 |
| 2.2.4 Cálculo de bomba requerida. | 73 |
| CAPITULO 3..... | 77 |
| 3 RESULTADOS Y ANÁLISIS | 77 |
| 3.1 Pruebas realizadas al sistema de captación de agua..... | 77 |
| 3.2 Resultados reales de volúmenes de captación..... | 80 |
| 3.3 Impacto financiero de la mejora..... | 81 |
| CAPITULO 4..... | 86 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 86 |
| CONCLUSIONES | 86 |
| RECOMENDACIONES | 87 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 89 |
| APENDICES..... | 91 |

ABREVIATURAS

| | |
|----------------|---------------------|
| mm. | Milímetros |
| °C | Grados centígrados |
| Aprox. | Aproximadamente |
| m ³ | Metros cúbicos. |
| FAN | Free Amino Nitrogen |
| kPa | Kilopascales |
| Kg | Kilogramos |
| g | Gramos |
| min | Minutos |
| m | Metros |
| s | Segundos |
| m ² | Metros Cuadrados |
| h | Hora |
| L | Litro |
| KW | Kilowatts |

SIMBOLOGÍA

| | |
|------------------------|--|
| hr | Humedad Relativa |
| HA | Humedad absoluta. |
| Q | Caudal de agua |
| V | Velocidad |
| A | Área |
| D | Diámetro |
| H | Altura manométrica |
| H_g , | Altura geométrica |
| P_c , | Pérdida de carga del fluido a su paso de la tubería |
| $P_i - P_a / \gamma$, | Presión diferencial existente entre las superficies del líquido en la impulsión y la aspiración de la bomba. |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Cebada de dos y de seis hileras | 7 |
| Figura 1.2 Flujograma de malteado de cebada | 16 |
| Figura 1.3. Esquema de planta de maltería. | 18 |
| Figura 1.4. Interacción de sistema de refrigeración en procesos de maltería | 25 |
| Figura 1.5. Diagrama del sistema de enfriamiento en Germinación | 28 |
| Figura 1.6. Principio de operación de un condensador evaporativo | 30 |
| Figura 2.1. Diagrama de Pareto con consumos de agua en maltería..... | 34 |
| Figura 2.2. Perfil de T° en Germinación para Cebada Variedad Baudin | 39 |
| Figura 2.3. Esquema de saladin en germinación. | 40 |
| Figura 2.4. Esquema de funcionamiento de una valvula de tres viás..... | 41 |
| Figura 2.5. Esquema de enfriamiento de aire en saladines..... | 51 |
| Figura 2.6. Líneas de bulbo seco en tabla psicrometrica. | 56 |
| Figura 2.7. Líneas de punto de rocío en tabla psicrometrica..... | 57 |
| Figura 2.8. Líneas de humedad relativa en tabla psicrometrica. | 58 |
| Figura 2.9. Líneas de humedad absoluta en tabla psicrometrica. | 59 |
| Figura 2.10 Tabla psicrométrica..... | 61 |
| Figura 3.1. Gráfica con los consumos y ahorro de agua en condensadores evaporativos. | 82 |
| Figura 3.2. Gráfica con los indicadores de agua en condensadores evaporativos antes y después de la implementación. | 83 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.3. Indicadores de consumo de agua antes y después de la implementación del sistema..... | 84 |
|---|----|

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Diferencias físico-químicas entre grano cebada y malta | 5 |
| Tabla 2. Capacidad de almacenamiento en maltería | 20 |
| Tabla 3. Porcentajes de consumos de agua en maltería..... | 33 |
| Tabla 4. Resultados de análisis de agua condensada. | 35 |
| Tabla 5. Caudales de aire en Germinación. | 53 |
| Tabla 6. Resultados de cálculos de generación de condensado en horas de mayor temperatura en invierno. | 63 |
| Tabla 7. Resultados de cálculos de generación de condensado en horas de menor temperatura en invierno. | 63 |
| Tabla 8. Resultados de cálculos de generación de condensado en horas de mayor temperatura en verano..... | 65 |
| Tabla 9. Resultados de cálculos de generación de condensado en horas de menor temperatura en verano..... | 66 |
| Tabla 10. Consumo de agua condensadores antes y después de la recuperación de condensado..... | 82 |
| Tabla 11. Indicadores de consumo de agua antes y después de la implementación del sistema..... | 83 |
| Tabla 12. Ahorro real generado | 85 |

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del siguiente Trabajo Final de Graduación abarca principalmente lo siguiente

En el capítulo 1 se explica la importancia de la malta en el proceso cervecero y se describe el proceso maltero, así también el funcionamiento del sistema de refrigeración en la presente maltería donde se realiza el proyecto y las condiciones y requerimientos actuales del mismo.

En el capítulo 2 Se describe el proceso de enfriamiento de aire para la germinación y como se presenta la oportunidad de recuperación del condensado generado. Luego se calcula un estimado de los volúmenes de recuperación, basado en datos de humedad relativa del ambiente.

También se describe la planeación del sistema para la captación del condensado, y su posterior envío a los condensadores determinando las necesidades del mismo.

Una vez instalado el sistema de captación de agua, en el capítulo 3 se describirá las observaciones de las pruebas realizadas al inicio de su operación y también el análisis de los volúmenes reales de ahorro de agua generado después de la implementación de este sistema, y el impacto financiero obtenido en la planta maltería

Finalmente en el capítulo 4 se darán las respectivas conclusiones y recomendaciones del sistema propuesto.

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 Maltería

Una maltería es una planta de producción que se dedica a realizar malteado de cereales, para ser usados como materia prima en la elaboración de otros productos, como la cerveza, whiskey, entre otros. Los granos en general tienen reservas de sustancias insolubles. El malteo consiste en poder aprovechar estas sustancias en procesos como el de fermentación, transformando las reservas de alimento del grano, que son en su mayor parte almidón y proteínas (ambos insolubles en agua), en un sustrato capaz de ser disuelto y extraído en agua caliente. Para ello se propicia la germinación del grano hasta que este tenga las propiedades esperadas, sobretodo la generación de enzimas, luego se seca a efectos de detener el

proceso. Las plantas donde se realiza este proceso a escala industrial se las denomina malterías.

Si bien la cebada, el trigo y el sorgo son granos que pueden ser malteados, la malta de cebada es la preferida para fabricar cerveza debido a su alta actividad enzimática, además presenta niveles de proteínas, micro y macro nutrientes que entregan condiciones óptimas para el desarrollo de la levadura. El grado de transformación del grano durante el malteo se conoce como modificación, y es controlado con el manejo de las condiciones de crecimiento a las cuales es expuesto el grano (5).

Los cambios esenciales que ocurren durante la modificación del grano son:

- Un gran aumento en la cantidad, mediante liberación o síntesis, de algunas enzimas hidrolíticas presentes en el grano.
- Una degradación por parte de enzimas hidrolíticas del material de paredes celulares, gomas, proteínas y almidón.
- Una reducción de la fuerza estructural del tejido del grano.

Las diferencias entre el grano de cebada y el de malta después del malteo se pueden resumir con los datos que se observan en la tabla1.

Tabla 1. Diferencias físico-químicas entre grano cebada y malta.

| CEBADA | MALTA |
|--|---------------------------------------|
| Grano duro | Grano suave y crujiente |
| No posee las enzimas Alfa y Beta amilasa | Posee las enzimas Alfa y Beta amilasa |
| Altos betaglucanos | Bajos betaglucanos |
| Proteína sin desdoblar | Cadenas de proteínas cortadas |
| Humedad entre 11 y 13% | Humedad entre 4 y 5% |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Las cervezas con diferentes gustos, color, aroma, suavidad y espuma necesitan usar maltas producidas por diferentes procesos, en particular en la etapa de secado y tostado posterior al malteo. Estas últimas etapas desarrollan sabor y color de diferentes grados de intensidad para la preparación de diferentes cervezas (4).

1.1.1 Malta de cebada.

Generalidad de la cebada

La cebada es la principal materia prima para la producción de cerveza. Su uso se debe a que es un cereal de la familia de las

gramíneas, de amplia distribución geográfica y climática, tiene almidones, proteínas y enzimas (existentes y potenciales), tiene muy bajo contenido de grasa, está provista de una cáscara fuerte que, no sólo protege el germen y el acróspiro (tallo en desarrollo) durante el maltaje, sino que ayuda a la filtración del mosto durante la elaboración de la cerveza.

La calidad de esta materia prima tiene una influencia decisiva en la calidad del producto final, así como también, el conocimiento de las propiedades específicas de la variedad de cebada a usar, esto da las bases para su manejo durante el malteo. Con este conocimiento es posible controlar adecuadamente el proceso.

Las cebadas cerveceras se generan específicamente para producción de malta, las de alta calidad maltean rápida y consistentemente, produciendo máximos niveles de extracto en el período de tiempo de malteo esperado. Las cebadas de baja calidad no cumplen esas expectativas.

Tipos de cebada

Las cebadas se dividen en cebadas de invierno y de primavera. Ambos tipos se subdividen en variedades, las cuales, de acuerdo al arreglo de los granos en la espiga, se clasifican en cebadas de dos hileras y de seis hileras. La descripción de 2 hileras o 6 hileras se refiere a la morfología de la espiga. Las espigas de 2 hileras tienen dos hileras paralelas de granos maduros, mientras que las de 6 hileras tienen seis hileras de granos maduros (11).

Figura 1.1. Cebada de dos y de seis hileras



FUENTE: Cerveceroscaseros.org

Por lo general las variedades de dos hileras poseen mayor extracto y menor contenido de enzimas y proteínas en cambio las de seis hileras menor extracto, mayor contenido de enzimas y proteínas. El extracto se refiere a la cantidad de azúcares solubles que pueden ser transformados en alcohol. Dentro de esta clasificación hay muchas

variedades de cebada que varían considerablemente entre ellas en un número de propiedades (sensibilidad al agua, actividad enzimática, porcentaje de humedad y proteínas, etc.).

Para obtener una malta de calidad buena y uniforme es esencial que la mayor cantidad posible de granos en el batch en el malteo, sean de la misma variedad. Por eso deben cultivarse y almacenarse variedades puras. Sólo de esa manera pueden ser aprovechadas las ventajas de las mismas.

Evaluación de calidad de la cebada

La calidad de la cebada tiene una importancia decisiva en la calidad de la malta y de la cerveza producida a partir de ella. Por eso la evaluación de la cebada es un punto muy importante para el maltero.

La cebada se evalúa:

A mano

Se examina: olor, color, brillo. Además, con el tacto se evalúa la dureza, que los granos tengan la cáscara, impurezas, granos dañados, aspecto y tamaño del grano, uniformidad, presencia de insectos.

Con análisis fisicoquímicos

Mallaje (porcentaje de granos retenidos por una zaranda de 2.5 mm. y no retenidos por una zaranda de 2.2 mm), peso hectolítrico, contenido proteico, humedad, capacidad germinativa, energía germinativa y sensibilidad al agua (11).

1.1.2 Descripción del Proceso Maltero

Producción de malta

El proceso de malteo de cebada sigue los siguientes pasos a continuación descritos:

Recepción

Recepción de la cebada se la realiza en tolvas desde donde es transportado a los silos de almacenamiento. Es un punto de muestreo y análisis (los descritos anteriormente) para asegurar la calidad de la materia prima.

Limpieza

Remoción de materiales no deseados como polvo, paja, semillas extrañas, piedras y granos pequeños.

Almacenamiento

Ayuda a tener disponibilidad de la materia prima en un corto plazo para abastecer el proceso a largo plazo. Mantiene el grano en un ambiente fresco, seco y ventilado para prevenir degradación por parte de bacterias, hongos y pestes.

Remojo

Es una de las etapas principales, en resumen el objetivo del remojo es limpiar, hidratar y airear el grano para iniciar germinación por activación del embrión e iniciar síntesis de ácido giberélico.

En la cebada almacenada, las enzimas importantes para el proceso de malteo tienen una actividad extremadamente baja o nula, o no existen aún. Durante el remojo, se proporciona agua al interior del grano, obteniendo como resultado activación de las enzimas y el comienzo del ciclo vital conocido como germinación. La respiración de la cebada se incrementa y con ello la necesidad de oxígeno. Para iniciar la germinación lo antes posible, la cebada debe ser abastecida en forma adecuada con agua y oxígeno durante el remojo.

La etapa de remojo consiste en períodos alternativos de inmersión del grano en agua (período húmedo) y de escurrido del agua (período seco). Esta combinación es necesaria para promover y mantener la eficiencia de germinación.

Germinación

En resumen, la germinación permite el crecimiento del embrión en condiciones controladas de humedad y temperatura, que provoca el desarrollo de enzimas para romper las paredes celulares del grano.

Durante la germinación, se produce una nueva planta de cebada a partir del grano. Para formar la nueva planta, el grano necesita una gran cantidad de energía y materiales estructurales, los cuales deben ser producidos mediante respiración y otros procesos metabólicos. Antes de que la joven planta esté en condiciones de reaccionar con el ambiente y producir ella misma almidón por asimilación, necesita los materiales de reserva presentes en el endospermo.

Al comienzo del proceso de malteo, el grano está en una forma estable con sustancias de alto peso molecular. Estas sustancias deben ser degradadas para formar productos de moléculas más pequeñas antes de que puedan ser transportadas con la ayuda de agua. Esta degradación es llevada a cabo por enzimas formadas durante la germinación. El grano remojado pasa de 4 a 6 días en condiciones de humedad y ventilación, tiempo durante el cual ocurre la modificación. La cebada remojada puede ser transferida a las

cajas germinadoras en estado seco, en cuyo caso el daño al grano germinando se minimiza, o en estado húmedo mediante bomba en un flujo acuoso, en cuyo caso los cambios en la presión hidráulica probablemente causen un retraso en la germinación. Los cambios de presión de más de 1 bar deben ser evitados.

La temperatura del grano es controlada entre 14 y 20°C, mediante un flujo de aire a través del lecho y es humidificado por un spray de agua que satura el aire para prevenir el secado del grano que reduciría la velocidad de germinación. La cebada en germinación necesita ser “removida” para separar los granos y sus raicillas en desarrollo. Sin remoción, la cebada formaría una masa casi sólida que restringiría el flujo de aire causando un sobrecalentamiento localizado. El entrecruzamiento de raicillas también dificultaría la transferencia del grano al final de la germinación.

Durante el proceso de germinación el grano de cebada se denomina “malta verde”.

Secado (tostación) y degerminación

Una vez terminada la germinación es necesario detener la misma mediante el secado del grano. La remoción de agua de la malta verde se realiza en forma regulada y es esencial para lograr lo siguiente:

- Detener el crecimiento y la modificación.
- Lograr un producto estable que pueda ser almacenado y transportado.
- Preservar enzimas.
- Desarrollar y estabilizar propiedades como sabor y color.
- Eliminar sabores indeseables.
- Inhibir la formación de compuestos químicos inaceptables.
- Secar las raicillas para permitir su remoción.

El proceso de secado consta de dos etapas principales:

La primera fase de secado se lleva a cabo a temperaturas relativamente bajas y con buen caudal de aire. Como las enzimas formadas durante la germinación son sensibles a la temperatura (y aún más cuando la humedad es mayor), se busca la remoción de agua preservando la mayor cantidad posible de enzimas.

La segunda fase, también llamada curado, se lleva a cabo a una temperatura mayor para lograr la remoción de sustancias indeseables como el DMS-dimetilsulfuro y conseguir el valor de humedad deseado.

El proceso total contabilizando carga y descarga, dependiendo de las características específicas de cada maltería, lleva alrededor de 24 horas.

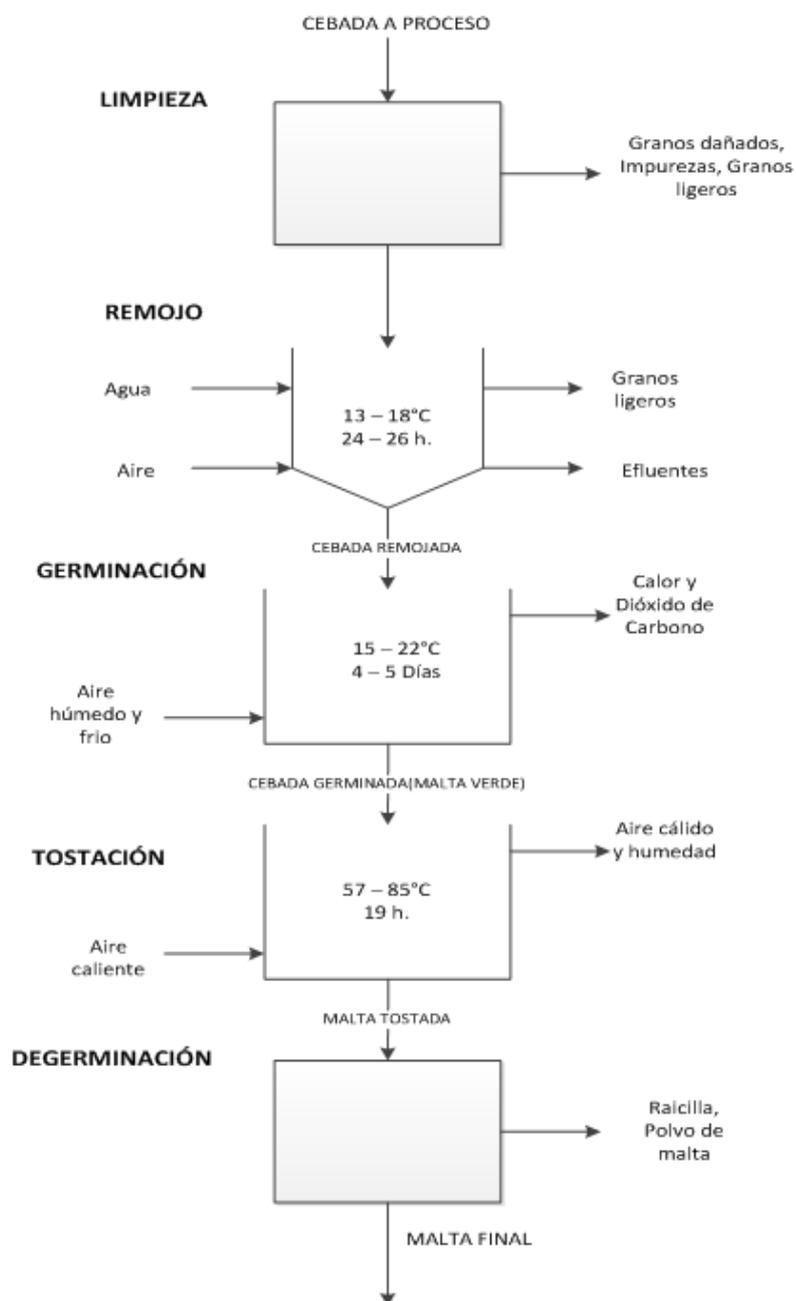
Degerminación

Retira la raicilla seca del grano de malta mediante fricción en un equipo especializado para la operación.

Almacenamiento

Mantiene el contenido de humedad y protege las características de la malta previamente al despacho. (1)

Figura 1.2. Flujograma de malteado de cebada

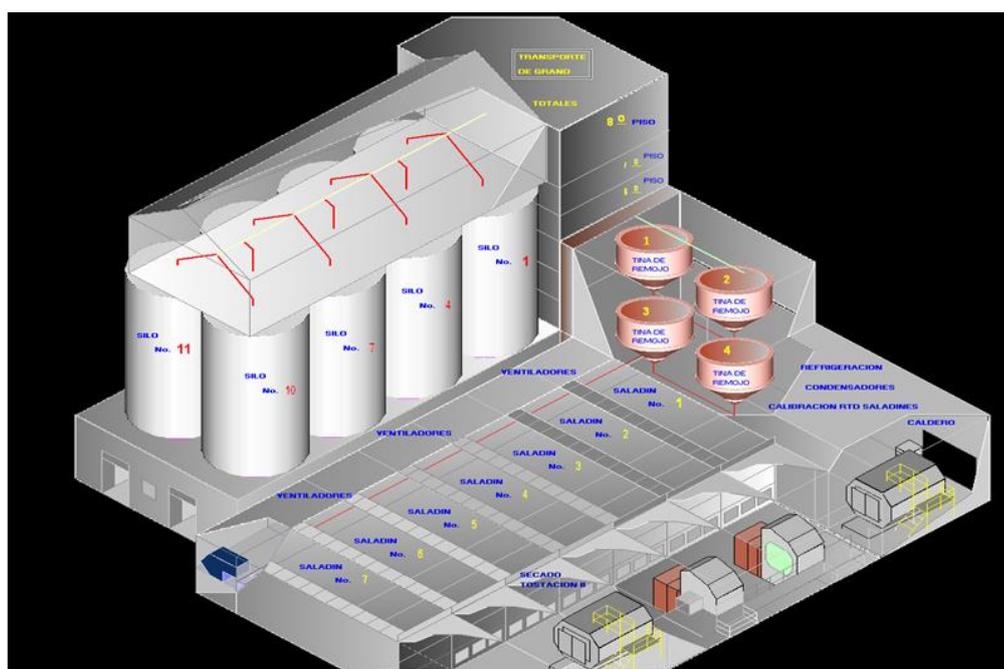


Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

1.1.3 Descripción de la planta de Maltería

La presente maltería fue construida en 1.978 y tiene una capacidad de producción de 28.000 toneladas de malta al año. Se la usa exclusivamente para malta Pilsen usada posteriormente en la elaboración de cerveza.

Figura 1.3. Esquema de planta de maltería.



Fuente: Sistema operativo Maltería -Pascuales (2014)

La descripción de las operaciones en cada sub- proceso se lo describe a continuación.

Recepción y almacenamiento de cebada

La cebada se recibe en camiones desde el puerto y es descargada en una tolva, desde donde es succionada hacia una báscula que pesa la cantidad que se recibe. Cada recepción se realiza un muestreo para realizar una inspección visual y sensorial del grano, antes de proceder a la descarga del camión.

Después de pasar por la báscula, el grano pasa a través de un imán para retener partículas metálicas que hayan sido desprendidas de las superficies que atraviesa el grano durante los diferentes transportes a los cuales es sometido desde su lugar de origen. Luego, por un sistema de transporte lleva el grano hacia los silos de almacenamiento correspondiente.

La capacidad de almacenamiento es de 2.800 toneladas de malta y 1.650 toneladas de cebada repartida en once silos de concreto.

Tabla 2. Capacidad de almacenamiento en maltería

| Tipo de grano | # de silos | Capacidad |
|----------------------|-------------------|------------------|
| Malta | 5 | 470 |
| Malta | 3 | 150 |
| Cebada | 3 | 550 |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Una vez llenado un silo de cebada, ésta es enviada al proceso de remojo en batch de 70 toneladas cada uno. Antes de llegar a las tinajas de remojo, una zaranda realiza una limpieza mayor de la cebada (retirar tálamo, polvo y partículas mayores).

Remojo

El remojo es realizado sumergiendo el grano en agua en dos etapas, dos tinajas de capacidad de 35 toneladas de cebada cada una durante 8 horas aproximadamente con intervalos entre periodos con y sin aeración de 10 minutos. Luego, esta cebada es trasladada a dos tinajas gemelas que se encuentran en un piso inferior. Una vez la totalidad de la cebada ha sido trasladada, se espera una hora hasta que esta se haya escurrido totalmente.

La cebada escurrida es sometida a un descanso de aire de 8 horas, para luego ser vuelta a llenar con agua y realizar otro periodo de remojo y aireación. Dando un total de 24 horas de remojo.

Entre las condiciones más importantes de operación se encuentran:

- Temperatura del agua: 13 – 17 °C.
- Caudal de aireación en cada tina: 18m³ por minuto.

Este proceso elevará el contenido de humedad de los granos desde aproximadamente 12% al 45%, lo que es clave para la promoción de la germinación (3).

Germinación

Después del remojo, los granos son bombeados con ayuda de un flujo de agua hacia los saladines, que son camas que se extienden sobre un fondo falso para que los granos puedan brotar en condiciones óptimas.

Las condiciones para asegurar una adecuada germinación son una temperatura de aire entre los 12 – 18°C, según perfil definido por el maltero. Un diferencial de temperatura entre el aire de entrada y de salida del lecho de granos de máximo 4°C; humedad de la malta verde entre 42 y 48%. La duración de la germinación es de aproximadamente 96 horas.

Otro de los factores que influyen en el proceso, es el nivel homogéneo que debe tener la cama de granos en el lecho, ya que de no ser así, ocasionaría que la corriente de aire atravesara el grano por las áreas donde el lecho este más delgado, y por consiguiente la falta de uniformidad en la germinación. Otro factor crítico también son las batidas del grano, al menos cada 8 horas con helicoidales metálicos que se mueven a través del lecho para evitar que la “raicilla” que se va desarrollando en el grano durante la germinación,

evite que el aire pase a través del lecho. Estos factores son críticos para producir una malta balanceada y de buena calidad.

Tostación

La etapa de tostación, como ya se mencionó anteriormente, se basa en secar el grano de malta verde y realizar un curado para darle las características organolépticas requeridas. Cuando termina la germinación, se corta el flujo de aire frío que entra de un extremo del saladín y enseguida se abren compuertas del extremo opuesto donde entra la corriente de aire caliente.

El aire caliente ingresa siguiendo un perfil de temperatura definido por el maltero, y está dividido en las siguientes etapas: secado, calentamiento, curado y enfriamiento.

En el secado, que es la etapa más larga, se espera reducir la mayor cantidad de humedad a “baja temperatura”, por lo que la temperatura del aire varía entre 60 y 70°C durante aproximadamente doce horas, donde se logra reducir la humedad de un 45%, a un 12% de humedad. Luego se realiza el calentamiento, que consiste en aumentar la temperatura del aire hasta la temperatura de curado que

es de 85°C, esta etapa dura aproximadamente tres horas. Cuando la temperatura llega a los 85°C, inicia el curado donde es clave mantener constante esta temperatura durante tres horas. La etapa final es la de enfriamiento, antes de ser transportado a los silos, con una temperatura de al menos 45°C, este proceso de enfriamiento dura una hora en promedio. En total el proceso de tostación demora 19 horas aproximadamente.

Las variables de tiempo, temperatura y velocidad de ventilación durante el proceso de tostación pueden cambiar dependiendo de las características específicas de la variedad de cebada utilizada.

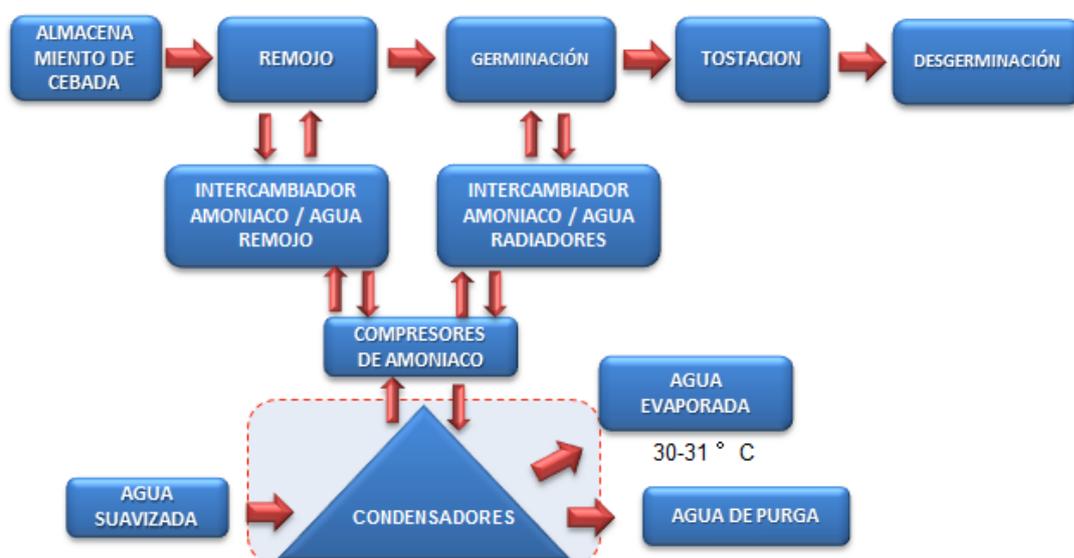
Degerminación y envío de malta a silos

Al terminar la tostación, el saladín es descargado por palas mecánicas y cae en una tolva que lo lleva a un transportador hacia una degerminadora, que por frotación desprende la raicilla del grano y luego la separa. La malta degerminada es el producto final y es enviada a los silos. La raicilla es enviada a una tolva de almacenamiento hasta ser despachada como subproducto.

1.2 Sistema de refrigeración

La maltería posee un sistema de refrigeración independiente con amoníaco como gas refrigerante, y trabaja en dos procesos específicos de la planta: remojo y germinación, (como se indica en la figura 1.4.). Cada uno cuenta con equipos de intercambio de calor (evaporadores) diferentes.

Figura 1.4. Interacción de sistema de refrigeración en procesos de maltería



Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

1.2.1 Generalidades del sistema de refrigeración usado en la planta.

Uso sistema de refrigeración para proceso de Remojo

El agua que será usada para el remojo de la cebada es primeramente almacenada en una cisterna de 200 metros cúbicos a temperatura ambiente, para luego ser enviada hacia un enfriador instantáneo de agua. Este intercambiador funciona haciendo deslizar el agua sobre una superficie por donde internamente pasa el refrigerante, lo que provoca que el agua se enfríe a la temperatura necesaria para el remojo, es decir entre 13 -16°C. Una vez fría, el agua es almacenada en una cisterna diferente de también 200 metros cúbicos, desde donde es enviada hacia las tinas en el proceso de remojo.

Uso sistema de refrigeración para proceso de Germinación.

El proceso de germinación necesita de aire frío en los saladines (entre 13 y 18°C) para su operación. Este aire es enfriado por radiadores en cada uno de los saladines. Los radiadores necesitan agua fría (entre 3 y 5°C) para su correcto funcionamiento.

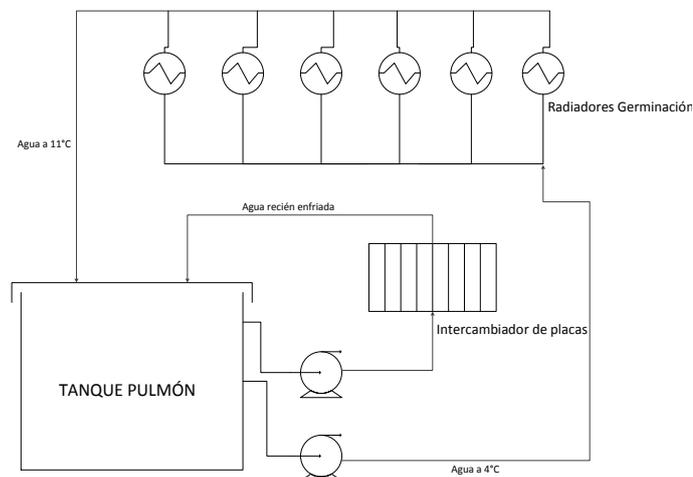
El sistema de enfriamiento del agua usada en los radiadores de germinación se realiza en un circuito cerrado. Donde un tanque de acero inoxidable de 80 metros cúbicos de capacidad, sirve de pulmón del sistema.

Este tanque pulmón envía y recibe agua desde y hacia los radiadores de los saladines que estén en etapa de germinación, a la vez que envía y recibe agua desde y hacia un intercambiador de placas que mantiene la temperatura del agua en el tanque en promedio de 4°Celsius.

El sistema funciona de la siguiente manera: una bomba de 20.000 m³ por hora envía agua del tanque hacia los diferentes radiadores de los saladines que estén en etapa de germinación. El agua del sistema, gana aproximadamente 6°C de temperatura al realizar el intercambio de calor en los radiadores (máximo seis radiadores están en etapa de germinación a la vez).

Simultáneamente, una bomba de 5.000 m³ por hora envía el agua del tanque pulmón hacia un intercambiador de placas, que usa amoníaco como refrigerante, para luego regresarla al tanque pulmón. En la operación, el operador de planta es el que controla los parámetros de operación del sistema de refrigeración, de manera tal de que el agua dentro del tanque pulmón permanezca siempre dentro de lo requerido (entre 3 y 5°C).

Figura 1.5. Diagrama del sistema de enfriamiento en Germinación



Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

1.2.2 Condensadores evaporativos.

En la maltería, los equipos que realizan la condensación del refrigerante son los condensadores evaporativos. Estos son uno de los métodos más modernos y ampliamente utilizados por la industria de la refrigeración industrial, en plantas de proceso, para ahorrar energía en su operación. (10)

En general, el intercambio de energía se da por la acción del aire y del agua que interactúan para mantener las temperaturas adecuadas de condensación. El gas refrigerante, sobre-calentado a alta presión y alta temperatura por el efecto del compresor, es descargado en la conexión de entrada del condensador evaporativo. Agua del colector del condensador es continuamente pulverizada desde la parte superior y esta al salir de las boquillas cae sobre un serpentín por donde circula el refrigerante. Simultáneamente, el aire ambiente es forzado por ventiladores en la unidad. A medida que el aire del ambiente se mueve hacia arriba a través del serpentín, una parte del agua pulverizada se evapora en la corriente de aire.

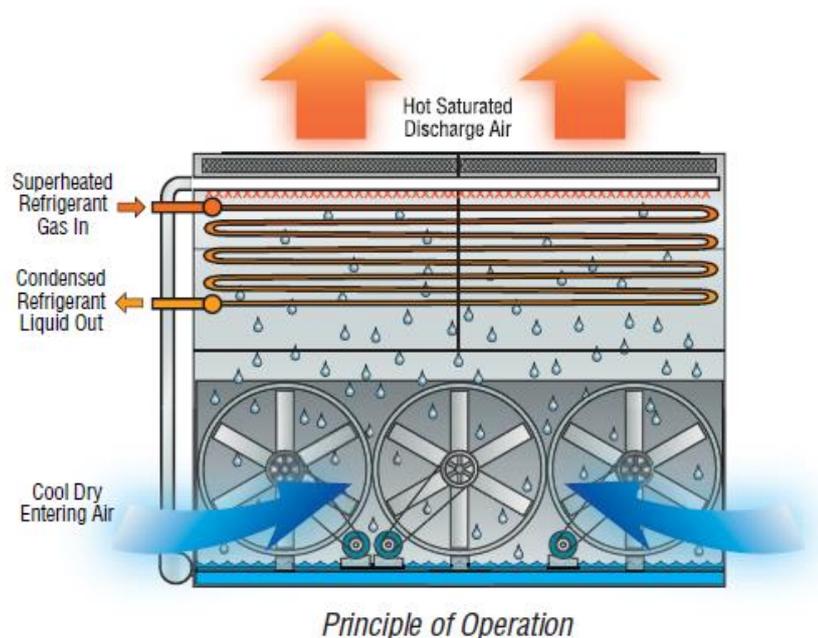
El proceso de evaporación enfría el agua de pulverización, que a su vez enfría los tubos que contienen el gas refrigerante. Las paredes de los tubos fríos absorben el calor del gas refrigerante y este se condensa en un líquido. El líquido condensado fluye del serpentín hacia un receptor de líquido de alta presión para retornar al sistema.

(9)

El aire caliente y saturado es dirigido a través de los separadores de gotas, en donde cualquier gota de agua arrastrada por la corriente de aire es eliminada. El ventilador del condensador descarga esta corriente de aire por la parte superior de la unidad a una alta

velocidad, donde se disipa sin peligro a la atmósfera. El agua que no se evapora cae en el colector y es recirculada por la bomba hacia el sistema de distribución de agua de pulverización nuevamente. (6)

Figura 1.6. Principio de operación de un condensador evaporativo



Fuente: EVAPCO (2014)

1.2.3 Características del sistema de refrigeración instalado

Las necesidades de refrigeración en maltería son para el enfriamiento de agua para el proceso de remojo, y para el enfriamiento de aire en germinación.

Para este requerimiento en la actualidad se tiene instalado un sistema de refrigeración con amoníaco, con una capacidad máxima instalada de 800 toneladas de refrigeración. El cual se compone de tres compresores MYCOM y tres condensadores evaporativos EVAPCO PMC-e.

CAPITULO 2

2. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE AGUA

En maltería el consumo total de agua está representado por los siguientes ítems, cada uno de ellos involucrados en los en los diferentes procesos de la planta:

- Agua “helada”: Esta es agua potable que ha sido enfriada y es usada para el remojo de la cebada.

- Agua de condensadores: Es agua suavizada que se usa en los condensadores evaporativos, el consumo se basa en que esta agua se evapora al enfriar el refrigerante.
- Agua para el bombeo: Agua potable que se usa en el traslado de la cebada desde las tinas de remojo hacia los saladines para su germinación.
- Agua de aseo: Agua potable sin enfriar que se usa para el aseo de las áreas de proceso.
- Agua de calderos: Agua blanda que se utiliza en la operación de las calderas de maltería.

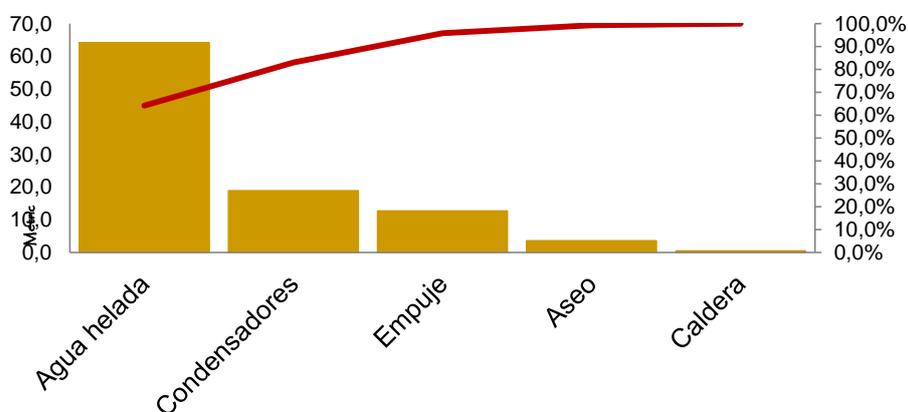
La tabla 3 y posterior figura 2.1. se observa un diagrama de Pareto presenta la incidencia que representa cada uso del agua en la maltería en el consumo total de la planta.

Tabla 3. Porcentajes de consumos de agua en maltería.

| Causa | Y (Metrica) | % Acumulado |
|---------------|--------------------|--------------------|
| Agua helada | 64,2 | 64,2% |
| Condensadores | 18,9 | 83,1% |
| Empuje | 12,7 | 95,8% |
| Aseo | 3,7 | 99,4% |
| Caldera | 0,6 | 100,0% |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Figura 2.1. Diagrama de Pareto con consumos de agua en maltería



Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

El diagrama de Pareto, con todos los usos del agua en la maltería, refleja que el mayor uso es en el “agua helada”, seguida por el agua de los condensadores evaporativos. Se junta estos dos mayores consumos y se obtiene que estos representan más del 80% del consumo total, por lo que reduciendo el consumo de estos ítems se logra un mayor impacto en el consumo total.

Al analizar el proceso, las opciones para generar ahorros de agua, se observa que durante el enfriamiento del aire para el proceso de germinación en los saladines, específicamente bajo los radiadores, se genera una considerable cantidad de agua que normalmente es considerada residual del proceso de germinación y es desechada hacia los efluentes de la planta. Esta agua es generada por la condensación

del vapor de agua del ambiente durante el enfriamiento del aire al pasar por el radiador.

La oportunidad de ahorro radica en reemplazar el agua usada en alguno de los procesos de la maltería, por el agua de condensado generada en el proceso de germinación.

Para averiguar si es factible la utilización del agua de condensado en algún proceso de la maltería, primeramente hay que conocer las características físico-químicas y microbiológicas del agua para tomar una decisión que no afecte la normal operación de los procesos.

Para realizarlo se tomó una muestra del condensado generado en un saladín y se envió a laboratorio para realizar los análisis correspondientes, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 4. Resultados de análisis de agua condensada.

| Análisis Físico-químicos | | |
|---------------------------------|-----------------------|------------------|
| Parámetro | Unidad | Resultado |
| Conductividad | S/m | 82 |
| Sólidos Totales | mg/L | 41 |
| Alcalinidad Total | mg/L | 48,9 |
| Dureza | mg/L | 53 |
| pH | - | 7,08 |
| Análisis Microbiológicos | | |
| Parámetro | Requisito INEN | Resultado |
| Coliformes f. | 0 ufc/100ml | 4 ufc/100ml |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Al analizar los resultados se puede concluir que el agua tiene muy buenas características físico-químicas. Contrario a los resultados microbiológicos que presentan contaje de coliformes, y según la norma NTE INEN 1 108:2011 para agua potable el requisito es 0. Este resultado puede ser debido a que el agua condensada cae sobre el piso de la cámara bajo los saladines antes de ser recolectada.

Según lo analizado con el diagrama de Pareto previamente se sabe que el mayor consumo es el del agua helada, que es el agua usada en el remojo de la cebada, el inconveniente es que esta agua al estar en contacto directo con la cebada necesita que sea potable, así que el agua condensada no puede usarse para este fin, ya que las características microbiológicas no son las adecuadas para asegurar la inocuidad del producto.

El siguiente ítem en importancia en el consumo total de la maltería es el del agua en los condensadores evaporativos. Estos equipos funcionan con agua ablandada y no es necesario que su calidad microbiológica sea tan elevada. Por lo que según los análisis del agua de condensado sería apropiada.

Ahora que se sabe en qué proceso de la maltería se usará el agua recuperada, también es necesario hacer una estimación de la cantidad de agua que se podría recuperar en cada saladín. Este dato sirve para justificar financieramente la rentabilidad de la inversión del montaje del sistema de captación del agua y también es necesario para realizar la planificación y diseño de dicho sistema.

A continuación, se presenta el método realizado para la estimación de la cantidad de agua a recuperar y por consiguiente el impacto en la eficiencia de los condensadores evaporativos.

También se presenta los requerimientos y planeación para la implementación del sistema de recuperación de agua y su posterior envío a los condensadores evaporativos.

2.1 Estimación del agua a recuperar

Para realizar el cálculo del estimado del agua a recuperar en la condensación durante el enfriamiento del aire en los saladines, primero hay que explicar cómo funciona el sistema durante la germinación en los saladines y como se presenta la oportunidad del condensado a recuperar. Luego para estimar el volumen de agua generado durante la condensación, hay que tomar en cuenta los factores de incidencia en la operación de los radiadores, que son: el caudal de aire de cada saladín y las características del mismo (temperatura y humedad del ambiente).

Debido a la variabilidad de las temperaturas y humedades en esta zona del país, el cálculo es realizado independientemente para cada estación del año (verano e invierno).

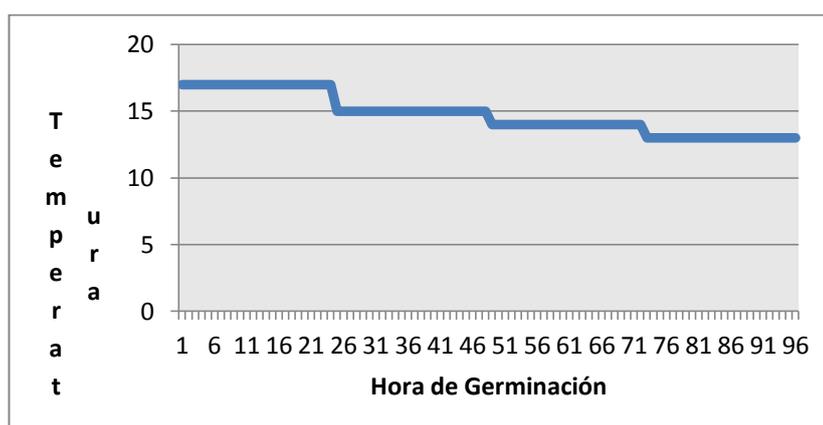
A continuación se presenta el desarrollo de estas estimaciones.

2.1.1 Enfriamiento de aire en saladines durante germinación.

Como se ha mencionado anteriormente, para la germinación es necesario en los saladines un flujo de aire frío de entre 12 y 18°C, esta temperatura varía a lo largo de las 96 horas que dura esta etapa del proceso. Este perfil a seguir durante la germinación es definido

por el maltero tomando en cuenta las características específicas de cada variedad de cebada que vaya a ser malteada. La figura 2.2. a continuación muestra el perfil usado para la variedad de cebada australiana BAUDIN.

Figura 2.2. Perfil de T° en Germinación para Cebada Variedad Baudin

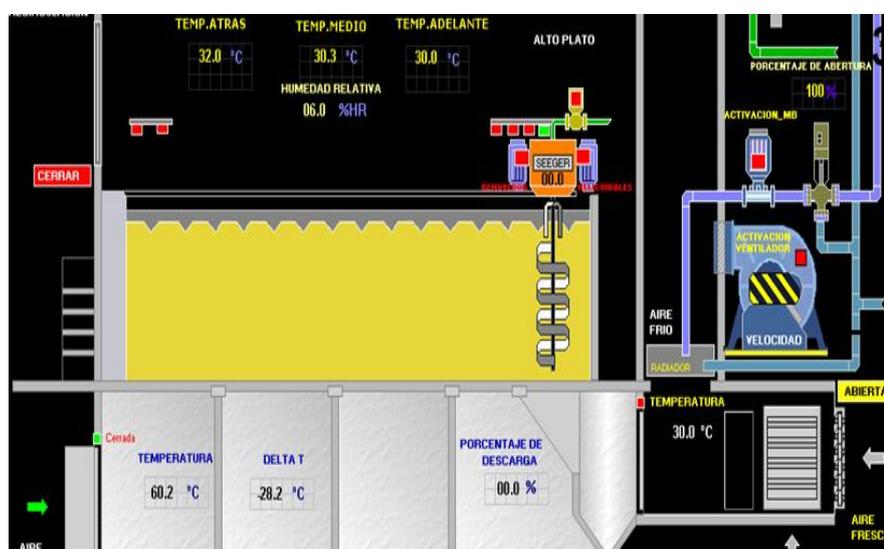


Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

En el perfil del gráfico se observa que la germinación empieza con 17°C y cada 24 horas disminuye a 15, 14 y 13°C, respectivamente. Por lo general, las temperaturas en germinación van decreciendo debido a que es en las últimas horas en las que se necesita menor temperatura para que el grano genere una mejor proteólisis. Esto para generar la cantidad requerida de aminoácidos libres (FAN), que son un factor importante en la evaluación de calidad de la malta (4). Para lograr esto, en la parte frontal de cada saladín se encuentra un ventilador, el cual fuerza el aire del ambiente a través de un radiador

para enfriarlo. Luego el aire ya frío, aprovechando el caudal con el que entró al radiador, pasa a lo largo de una cámara ubicada justo bajo un fondo falso donde se encuentra la cama de granos del saladín. Esta es una cámara cerrada por lo que el aire es forzado a pasar a través del grano, dándole a la cebada el oxígeno y temperatura necesarios para su adecuada germinación.

Figura 2.3. Esquema de saladín en germinación.

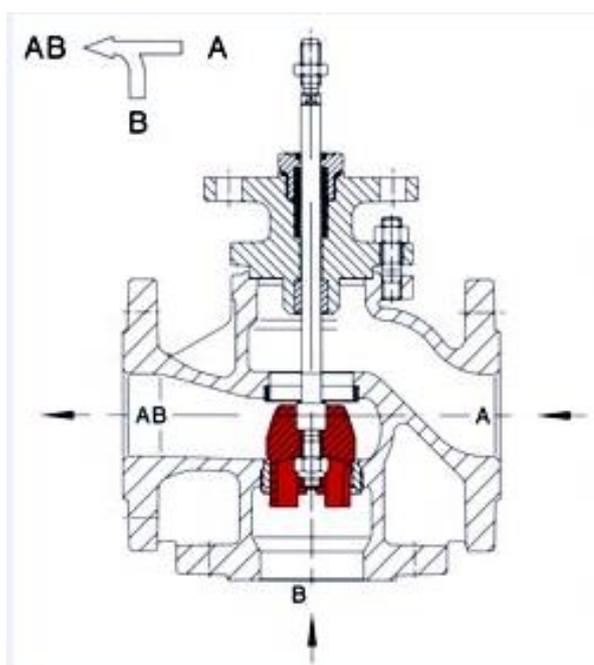


Fuente: Sistema operativo Maltería -Pascuales (2014)

La temperatura de enfriamiento del aire es controlado automáticamente por un sistema con una válvula de tres vías, que consiste en un cuerpo de grifería y un cartucho que aloja los elementos de válvula y que se puede mover en dos grados de

libertad para determinar la proporción de mezcla del caudal total, facilitando un control muy rápido de temperatura, gracias a que el fluido de enfriamiento puede mezclarse a través de la válvula sin pasar por el intercambiador.

Figura 2.4. Esquema de funcionamiento de una válvula de tres vías.



Fuente: ing-electrica-tercero.blogspot.es (2009)

En la figura 2.4. se puede observar su funcionamiento, donde A es la entrada del agua fría que viene del tanque pulmón del sistema y B es el agua que retorna desde el radiador, la salida AB es la mezcla de estas dos. De esta manera el sistema automático de control de

temperatura, según la demanda de frío del saladín, abrirá o cerrará ambas válvulas. El funcionamiento de esta válvula además de controlar la temperatura de germinación, también ayuda a ahorrar energía al recircular el agua del radiador (14).

Como ya se mencionó antes, la oportunidad de ahorro de agua se genera durante el enfriamiento del aire para la germinación, ya que se produce una condensación de agua que genera una “lluvia” en la cámara que se encuentra bajo los radiadores. Esta agua condensada, que además es fría, es enviada hacia un desagüe y es desechada, a pesar de ser perfectamente reutilizable en los condensadores evaporativos.

La generación de esta agua condensada se explica entendiendo conceptos básicos de psicrometría que se define como la medición del contenido de humedad del aire.

El aire, no es un vapor saturado que esté cercano a temperaturas donde pueda ser condensado. Es siempre un gas altamente sobrecalentado, o más precisamente, es una mezcla de gases altamente sobrecalentados.

Así, cuando se calienta o enfría aire seco, solamente se está agregando o quitando calor sensible.

El aire atmosférico es una mezcla de oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, hidrógeno, vapor de agua, y un porcentaje muy pequeño de gases como argón, neón, ozono, etc.

Cada uno tiene su propia densidad, su propia presión (presión parcial), y cada uno responde a los cambios de volumen y temperatura a su propia manera, sin "hacer caso" uno al otro, y cada uno se comporta según las leyes que lo gobiernan en lo particular.

El aire, tiene peso, densidad, temperatura, y calor específico. Y específicamente la densidad varía con la presión atmosférica y la humedad relativa.

Las palabras "vapor" y "gas", comúnmente se emplea para referirse a lo mismo; pero en realidad, un gas es un vapor altamente sobrecalentado, muy lejos de su temperatura de saturación, como el aire. Un vapor está en sus condiciones de saturación o no muy lejos de ellas, como el vapor de agua. Así pues, el vapor de agua o "humedad" en un espacio, puede estar en una condición de

saturación o ligeramente arriba de ella. Si se lo enfría unos cuantos grados, se condensa, y si se le aplica calor, se sobrecalienta.

Así pues, la cantidad de humedad en el aire en un lugar y tiempo determinados, puede variar considerablemente.

Cuando comúnmente se refiere a la presión atmosférica o barométrica, se incluye la presión del aire y la presión del vapor de agua que éste contiene (10).

La presión atmosférica "normal" a nivel del mar, es de 101.325 kPa o de 760 mm. de mercurio. Si la presión del vapor de agua en el aire a 15°C es 1,70 kPa, entonces, la presión del aire seco sería 99.625 kPa ($101.325 - 1,70$); ya que, de acuerdo a la ley de Dalton, la presión total es la suma de las presiones parciales de los componentes: la del aire seco y la del vapor de agua.

En la cuarta columna del apéndice C, se tiene los valores de volumen específico. Estos indican el volumen en m³, que ocupa un kilogramo de agua en forma de vapor saturado.

Si se tiene un cuarto de 8 x 5 x 2,5 metros (100 m³) lleno de vapor de agua a 15°C, dentro de éste habrá poco más de un kilogramo de vapor saturado; esto es, $100 \text{ m}^3 \div 77,97 \text{ m}^3/\text{kg} = 1.283 \text{ kg}$.

Otra manera de calcularlo es utilizar el valor de la densidad. En la quinta columna se tiene los valores de la densidad en kg/m³; así que, el peso de 100 m³ de vapor saturado a 15°C es de 1.283 kg (100 m³ x 0,01283 kg/m³).

Como ya se sabe, el volumen específico es la inversa de la densidad, y viceversa (9).

Aire saturado (con Humedad)

Hasta ahora, se ha supuesto que el vapor de agua en el cuarto está saturado. El cuarto está también lleno de aire seco, así que esta condición se refiere a "aire seco saturado con humedad", o algunas veces solamente a "aire saturado". Si en el ejemplo se ha supuesto que el aire está saturado con humedad, también hay que suponer que hay presente un abastecimiento continuo de agua, de tal forma, que el aire pueda estar todo el tiempo saturado, aun cuando cambie la temperatura. Así pues, se puede imaginar que en el piso del cuarto hay una gran charola con agua, y que al igual que el aire y el vapor, están todos a la misma temperatura de 15°C. Si es que de alguna manera se aplica calor suficiente, para que los tres componentes aumenten su temperatura a 21°C, y se mantenga así. Algo del agua se evaporaría, y este vapor, también a 21°C, ocuparía todo el espacio del cuarto, mezclándose con el vapor ya existente. Todo el vapor de agua ahora se volverá más denso y a más alta presión; del apéndice C, su presión será 2,48 kPa y su volumen específico será 54,54 m³/kg (en lugar de 77,97 que tenía a 15°C). El peso del vapor de agua también aumenta, siendo ahora de 1.834 kg (100 ÷ 54,54), o sea, 18,34 g/m³ en lugar de 12,83 g/m³ que tenía a 15°C (8).

Aunque la cantidad de agua en la atmósfera sea muy pequeña, como lo es su variación de una estación a otra, es muy importante para la cantidad de agua que se puede recuperar con el sistema que se quiere implementar.

Si ahora se deja de aplicar calor, el aire, el agua y el vapor se enfriarán gradualmente. El aire disminuirá su volumen, así que, algo de aire exterior entrará al cuarto para compensar la diferencia. Si es que el aire exterior está perfectamente seco. La densidad del vapor de agua disminuirá gradualmente, al alcanzar nuevamente la temperatura de 15°C, la densidad del vapor será de 12,83 g/m³, los 5,51 g/m³ restantes se condensarán en agua líquida, y la presión de vapor también disminuirá gradualmente de 2,48 a 1,70 kPa, de tal forma, que al llegar a los 15°C, las condiciones habrán regresado exactamente a las mismas antes de aplicar calor. Es importante hacer la observación de que en todo momento, durante el calentamiento y nuevamente al enfriar, el vapor de agua estaba en una condición de saturación (2).

Si se retira la charola de agua y enfriamos el cuarto, a menos de 15°C, el vapor saturado se condensa gradualmente.

El agua condensada se acumula en el suelo, pero el vapor de agua que queda, está en una condición de saturación, y sus nuevas características (presión, volumen, densidad y otras) son las que se encuentran en el apéndice C.

Humedad Relativa

La humedad relativa (*hr*), es un término utilizado para expresar la cantidad de humedad en una muestra dada de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura de la muestra. La humedad relativa se expresa en porciento, tal como 50%, 75%, 30%, etc.

Volviendo al ejemplo, para comprender mejor el significado de humedad relativa, decía que el vapor de agua a 15°C estaba saturado, y a 21°C estaba sobrecalentado.

Para conocer la humedad relativa del aire en el cuarto a 21°C, se calcula usando los valores de la densidad del vapor de agua saturado (15°C) y la del vapor de agua sobrecalentado (21°C), que en este caso sería 0,01834 kg/m³ del apéndice C.

Hr=humedad relativa

$Hr = \text{densidad de vapor de agua a } 15^{\circ}\text{C} \div \text{densidad de vapor de agua a } 21^{\circ}\text{C} \times 100$

$$hr = 0,01283 \text{ kg/m}^3 \div 0,01834 \text{ kg/m}^3 \times 100 = 69,95\%$$

Esto significa que en el espacio del cuarto a 21°C, la humedad es el 69,95% de la que tendría si estuviera en condiciones de saturación. Este porcentaje es la "humedad relativa" (7).

Humedad Específica

La humedad específica, o también llamada contenido de humedad, es el peso de vapor de agua en gramos por kilogramo de aire seco.

La humedad específica, se refiere a la cantidad de humedad en peso que se requiere para saturar un kilogramo de aire seco, a una temperatura de saturación (punto de rocío) determinada. En la columna cuarta del apéndice D, se muestran estos valores en gramos por kilogramo de aire seco (en el sistema internacional) (10).

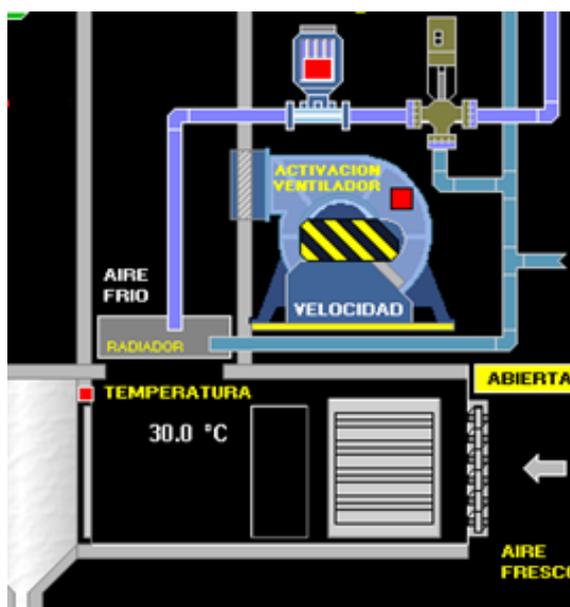
2.1.2 Validación de caudal de aire en ventilador de germinación.

Para poder calcular la cantidad de agua a recuperar, se debe primero averiguar cuánta agua ingresa al radiador, y así después cuanta de eso se condensa. Para esto se necesita el dato del caudal de aire de los ventiladores de germinación.

Según datos del fabricante, el diseño de los motores de los ventiladores de germinación indica que en cada saladín tienen un caudal de 45.000 metros cúbicos por minuto. Pero esta información tiene que pasar por una validación del caudal de aire a las condiciones que operan actualmente estos equipos.

Bajo cada ventilador de germinación se encuentra una pequeña cámara cerrada, en el que una de sus paredes se encuentra unas persianas que se abren cuando el ventilador está encendido, este es el lugar por donde ingresa el aire. Este ingreso de aire tiene una superficie de 1,2 x 1,2 m. y posee 10 persianas.

Figura 2.5. Esquema de enfriamiento de aire en saladines.



Fuente: Sistema operativo Maltería -Pascuales (2014)

Para realizar la validación se usa un equipo especializado llamado anemómetro, con el cual se podrá medir la velocidad del aire justamente por el ingreso, es decir, las persianas.

Para empezar, se toma datos colocando la potencia con que trabajan los ventiladores normalmente. Durante estas mediciones se observó

que la velocidad del aire variaba en diferentes puntos, por lo que se realizó la medición del siguiente método:

Se toma mediciones en tres puntos diferentes a lo largo y tres puntos diferentes a lo ancho de cada abertura de las persianas. Para luego sacar un promedio con las nueve lecturas, y estas multiplicadas por el área de cada abertura. De esta manera se obtiene el caudal en cada una.

Caudal x abertura (m^3/s) =

promedio datos velocidad (m/s) X área de la abertura (m^2)

Luego se suma todos los caudales individuales de cada abertura y así se tiene el caudal del total del ingreso de aire en m^3/s . Finalmente este dato es llevado a metros cúbicos por hora con lo que se obtiene el dato que se necesita. Los resultados se muestran en los apéndices A y B.

Se realiza esta medición en dos saladines diferentes y se obtienen caudales muy parecidos. Por lo que el dato que se usa para los siguientes cálculos es un promedio de ambos.

Tabla 5. Caudales de aire en Germinación.

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| Caudal de aire en Saladín 2 | 44.506 metros cúbicos/hora |
| Caudal de aire en Saladín 6 | 47.796 metros cúbicos/hora |
| Promedio | 46.151 metros cúbicos/hora |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Así el dato que se usará para los cálculos siguientes será de 46.150 metros cúbicos de aire por hora.

2.1.3 Agua a recuperar en época de invierno

Ahora el último paso, para estimar el volumen de agua condensada a recuperar, es necesario medir las condiciones ambientales, ya que de esto depende la cantidad de agua que ingresan a los radiadores de germinación.

Guayaquil se encuentra en el trópico con dos estaciones muy marcadas, verano e invierno, en las cuales las temperaturas y humedades relativas del ambiente varían significativamente una de la otra. Por lo que se realizará estimaciones independientes para cada estación.

Para realizar la estimación se monitorea las temperaturas y humedades relativas del aire que ingresa al saladín en dos procesos de germinación completos, es decir durante las 96 horas. Una se la realizo en época de invierno y otra en la de verano.

Al revisar los datos obtenidos se observa que, en ambas estaciones, las mayores temperaturas son registradas en el horario de 10H00 a 17H00, y el resto del día se mantiene temperaturas más bajas. Ya que esto es solo una estimación y no es necesario tener un dato exacto, para realizar el cálculo se tomará referencia la temperatura más alta registrada durante el día y la más alta durante la noche como referencia en cada día del proceso.

Los cálculos realizados serán obtenidos de una carta psicométrica, que es una gráfica que es trazada con los valores de las tablas psicométricas antes presentadas.

En una carta psicométrica se encuentran todas las propiedades del aire, de las cuales las de mayor importancia son las siguientes:

1. Temperatura de bulbo seco (*bs*).
2. Temperatura de bulbo húmedo (*bh*).

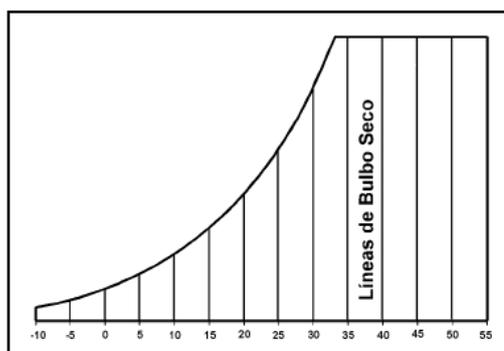
3. Temperatura de punto de rocío (pr)
4. Humedad relativa (hr).
5. Humedad absoluta (ha).
6. Entalpía (h).
7. Volumen específico.

Conociendo dos de cualquiera de estas propiedades del aire, las otras pueden determinarse a partir de la carta. En este caso las que disponemos son las temperaturas de bulbo seco y la de humedad relativa (1).

Se describirá las propiedades que se usará para los cálculos en la carta psicométrica. En primer término, se tiene la temperatura de bulbo seco, que es la temperatura medida con un termómetro ordinario. Esta escala es la horizontal (abscisa), en la parte baja de la carta, según se muestra en la figura 2.6. Las líneas que se extienden verticalmente, desde la parte baja hasta la parte alta de la carta, se

llaman líneas de temperatura de bulbo seco constantes, o simplemente «líneas de bulbo seco».

Figura 2.6. Líneas de bulbo seco en tabla psicrometrica.

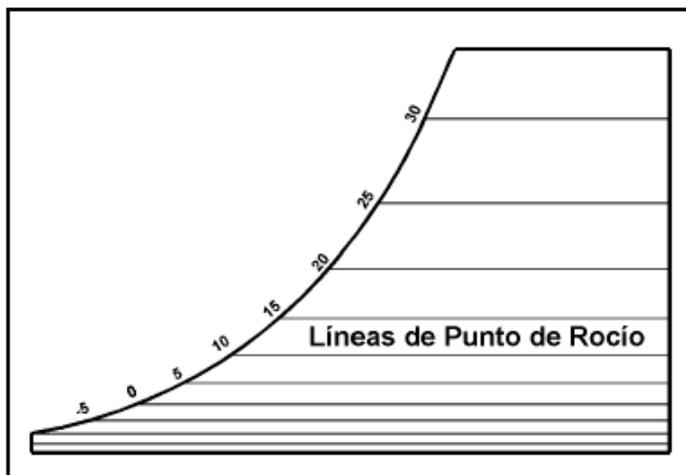


Fuente: www.fao.org

La temperatura de punto de rocío es otra propiedad de aire incluida en una carta psicrométrica. Esta es la temperatura a la cual se condensará la humedad sobre una superficie. Las líneas de la temperatura de punto de rocío, corren horizontalmente de izquierda a derecha, como se ilustra en la figura 2.7.

Cualquier punto sobre una línea de punto de rocío constante, corresponde a la temperatura de punto de rocío sobre la escala, en la línea curva de la carta.

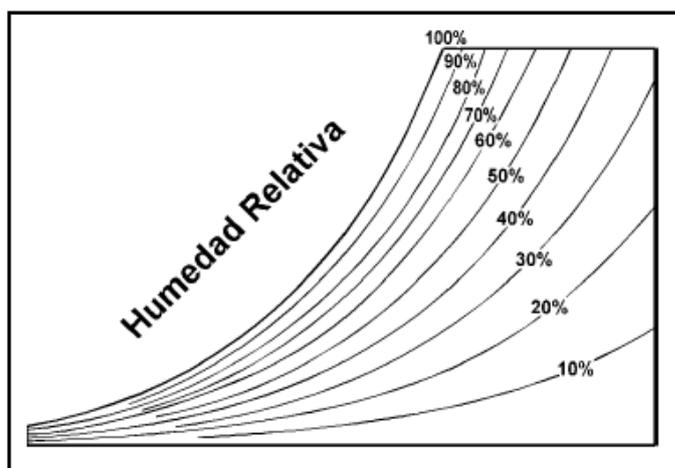
Figura 2.7. Líneas de punto de rocío tabla psicrometrica.



Fuente: www.fao.org

La humedad relativa en una carta psicrométrica, son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha. Se expresan siempre en porciento, y este valor se indica sobre cada línea. La línea curva exterior, representa una condición de saturación o del 100% de humedad relativa. Por lo tanto, la línea de 100% de *hr*, es la misma que la escala de temperaturas de bulbo húmedo y de punto de rocío. Las líneas de *hr* constante, disminuyen en valor al alejarse de la línea de saturación hacia abajo y hacia la derecha, como se ilustra en la figura 2.8.

Figura 2.8. Líneas de humedad relativa en tabla psicrometrica.

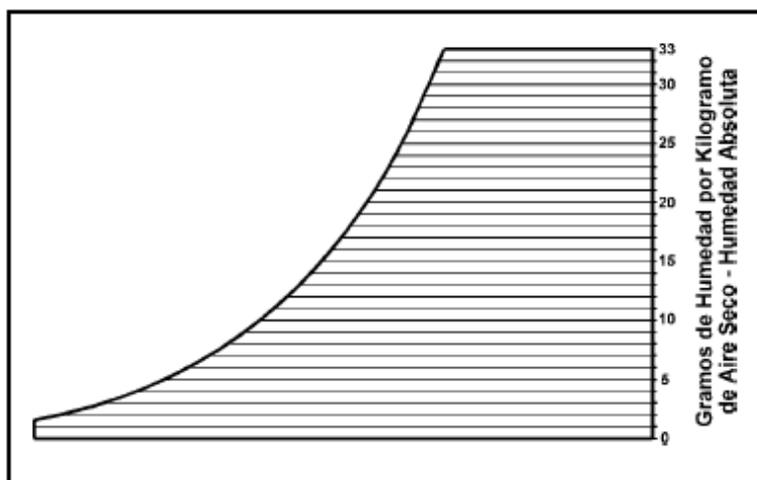


Fuente: www.fao.org

La humedad absoluta, es el peso real de vapor de agua en el aire. También se le conoce como humedad específica. La escala de la humedad absoluta, es la escala vertical (ordenada) que se encuentra al lado derecho de la carta psicométrica, como se indica en la figura 2.9. Los valores de esta propiedad se expresan, en kilogramos de humedad por kilogramo de aire seco (kg/kg).

Las líneas de humedad absoluta (fig. 2.9.), corren horizontalmente de derecha a izquierda, y son paralelas a las líneas de punto de rocío y coinciden con éstas. Así pues, se puede ver que la cantidad de humedad en el aire, depende del punto de rocío del aire (7).

Figura 2.9. Líneas de humedad absoluta en tabla psicrometrica.



Fuente: www.fao.org

Para realizar la estimación, se parte de los datos que se tiene disponibles, que son la temperatura y humedad relativa del aire que ingresa a los radiadores. Se toma la más alta durante el día y la noche en cada estación ya que así se asegura de que el sistema es diseñado en sus capacidades máximas de recuperación de agua. Luego, usando la carta psicrométrica se puede ver la cantidad de agua que ingresa, es decir la humedad absoluta. Por ejemplo, en el primer dato se tiene que en el primer día de germinación durante el día es (con líneas rojas en figura 2.10.):

T° de bulbo seco: 35°

HR: 60%

HA: 0,02144 Kg de agua/ Kg. De aire seco

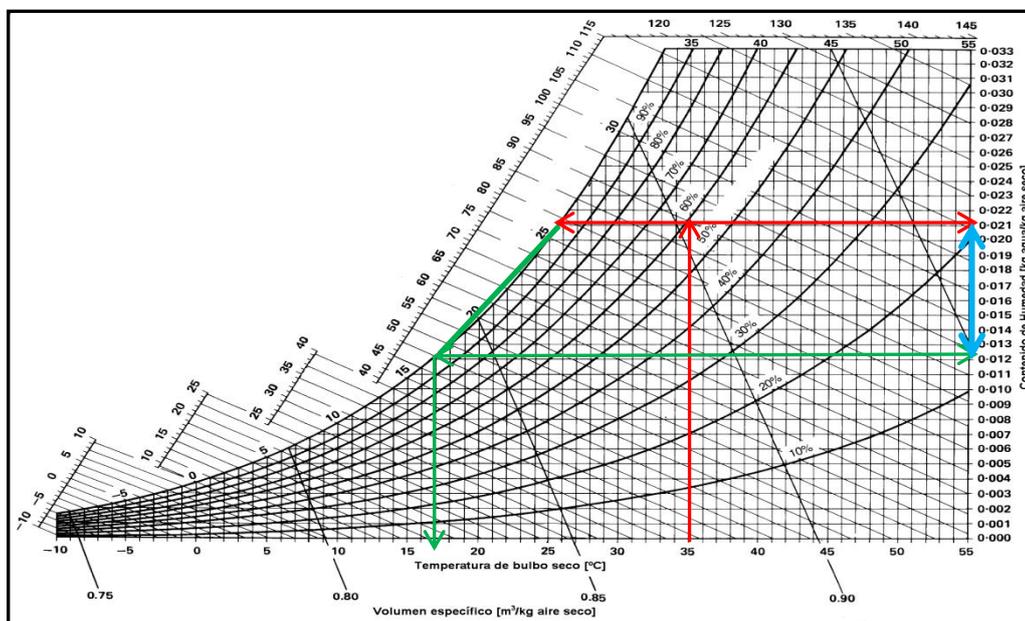
Ahora, según el perfil de temperatura para germinación en el primer día, la temperatura de bulbo seco del aire a la salida del radiador es de 17°C. Nuevamente en la carta psicométrica se tiene que, al reducir la temperatura de 35° a 17°C, el aire alcanza la temperatura de rocío (fig. 2.10.) y con lo cual se produce la condensación del vapor de agua del aire y por ende la humedad relativa del 100%, y se revisa nuevamente la humedad absoluta (líneas verdes en figura 2.10.).

T° de bulbo seco: 17°

HR: 100%,

HA: 0,01213 Kg de agua/ Kg. De aire seco.

Figura 2.10. Tabla psicrométrica.



Fuente: www.fao.org

Como se puede observar, la disminución de temperatura de bulbo seco hace que la humedad relativa en el aire aumente; pero la humedad absoluta, es decir la masa de vapor de agua en el aire, disminuye. Esta disminución representa la cantidad de vapor de agua que se condensa. Y lo que es lo mismo la cantidad de agua que es posible recuperar del sistema de germinación (línea celeste en figura 2.10.).

Para tener el dato de todo el condensado recuperable durante toda la germinación se tiene, que esa cantidad que se condensa por kilogramo de aire que ingresa al saladín se multiplicaría por el caudal

de entrada que se ha definido anteriormente pero llevado a masa usando la densidad del aire. Y así:

Promedio caudal por saladín al 75% * Densidad aire = Flujo en saladines.

Para realizar el cálculo se tomará la densidad de aire a 15°C ya que ese es el promedio de la temperatura a que se enfría el aire.

$$46.150 \text{ m}^3/\text{hr.} * 1,225 \text{ kg/m}^3 = 56.534 \text{ Kg. Aire/hr.}$$

Este valor se lo multiplica por 7, que es el número de horas de mayor temperatura (de 10H00 a 17H00). Y se obtiene los kilogramos de agua a recuperar por día en ese periodo de tiempo. Se realiza la misma operación con cada uno de los datos obtenidos en las mediciones de temperatura y humedad relativa durante cada día que dura el proceso de germinación, y luego se los suma.

Tabla 6. Resultados de cálculos de generación de condensado en horas de mayor temperatura en invierno.

| HORAS DEL DIA CON MAYOR TEMPERATURAS EN INVIERNO | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| DIA | aire entrada de radiadores | | | aire salida de radiadores | | | Kg. Agua condensada / Kg. Aire seco | Horas de calor en el dia | Kg. Agua cond. / saladin dia |
| | tbs entrada de aire °C | H. relativa (%) | Kg. H2O/Kg. Aire seco | tbs salida de aire °C | H. relativa (%) | Kg. H2O/Kg. Aire seco | | | |
| 1 | 35 | 60 | 0,02144 | 17 | 100 | 0,01213 | 0,009315 | 7 | 3686,3 |
| 2 | 27 | 74 | 0,01664 | 15 | 100 | 0,0106484 | 0,0059916 | 7 | 2371,1 |
| 3 | 27 | 75 | 0,016869 | 14 | 100 | 0,009971 | 0,006898 | 7 | 2729,8 |
| 4 | 21 | 82 | 0,012779 | 13 | 100 | 0,0093326 | 0,0034464 | 7 | 1363,9 |
| Kg agua condensada durante las horas de mayor T° | | | | | | | | | 10151 |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo para las horas de menor temperatura (17H00 a 10H00). Se toma el dato de mayor temperatura durante el periodo y se lo multiplica por el número de horas del periodo (17 horas), y así se obtiene:

Tabla 7. Resultados de cálculos de generación de condensado en horas de menor temperatura en invierno.

| HORAS DEL DIA CON MENOR TEMPERATURA EN INVIERNO | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| DIA | aire entrada de radiadores | | | aire salida de radiadores | | | Kg. Agua condensada / Kg. Aire seco | Horas de calor en el dia | Kg. Agua cond. /saladin dia |
| | tbs entrada de aire °C | H. relativa (%) | Kg. H2O/Kg. Aire seco | tbs salida de aire °C | H. relativa (%) | Kg. H2O/Kg. Aire seco | | | |
| 1 | 27 | 98 | 0,02223 | 17 | 100 | 0,01213 | 0,010099 | 17 | 9705,9 |
| 2 | 22 | 96 | 0,0159865 | 15 | 100 | 0,0106484 | 0,0053381 | 17 | 5130,3 |
| 3 | 26 | 97 | 0,0206921 | 14 | 100 | 0,009971 | 0,0107211 | 17 | 10303,8 |
| 4 | 21 | 94 | 0,0146939 | 13 | 100 | 0,0093326 | 0,0053613 | 17 | 5152,6 |
| Kg agua condensada durante las horas de menor T° | | | | | | | | | 30293 |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Después se suma los kilogramos de agua condensada durante las horas de mayor y de menor temperatura del ambiente, para así obtener el agua potencialmente recuperable de todo un batch de producción.

Así se tiene que por cada producción de malta durante la estación de invierno se puede recuperar un total de 40,4 metros cúbicos de agua, ya que la capacidad de la planta es de 40 producciones mensuales, el volumen de recuperación de agua condensada llegaría a 1.616 metros cúbicos al mes.

2.1.4 Agua a recuperar en época de verano.

Ahora hay que realizar el cálculo pero para los otros seis meses del año donde las condiciones de temperatura y humedad son menores, por lo que los volúmenes de agua condensada que puede recuperarse del sistema de germinación también son teóricamente menores. Así se realiza el mismo procedimiento de cálculo aplicado anteriormente para invierno, y se tiene que:

Tabla 8. Resultados de cálculos de generación de condensado en horas de mayor temperatura en verano.

| HORAS DEL DIA CON MAYOR TEMPERATURAS EN VERANO | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| DIA | aire entrada de radiadores | | | aire salida de radiadores | | | Kg. Agua condensada / Kg. Aire seco | Horas de calor en el día | Kg. Agua cond. / saladin día |
| | tbs entrada de aire | H. relativa (%) | Kg. H2O/Kg. Aire seco | tbs salida de aire | H. relativa (%) | Kg. H2O/Kg. Aire seco | | | |
| 1 | 34 | 48 | 0,01609 | 17 | 100 | 0,01213 | 0,0039652 | 7 | 1569,2 |
| 2 | 26 | 64 | 0,0134997 | 15 | 100 | 0,0106484 | 0,0028513 | 7 | 1128,4 |
| 3 | 26 | 64 | 0,0134997 | 14 | 100 | 0,009971 | 0,0035287 | 7 | 1396,4 |
| 4 | 21 | 75 | 0,0116681 | 13 | 100 | 0,0093326 | 0,0023355 | 7 | 924,2 |
| Kg agua condensada durante las horas de mayor T° | | | | | | | | | 5018 |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Y para las horas de menor temperatura del día en verano se obtiene:

Tabla 9. Resultados de cálculos de generación de condensado en horas de menor temperatura en verano.

| HORAS DEL DIA CON MENOR TEMPERATURA EN VERANO | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| DIA | aire entrada de radiadores | | | aire salida de radiadores | | | Kg. Agua condensada / Kg. Aire seco | Horas de calor en el dia | Kg. Agua cond. /saladin dia |
| | tbs entrada de aire °C | H. relativa (%) | Kg. H2O/Kg. Aire seco | tbs salida de aire °C | H. relativa (%) | Kg. H2O/Kg. Aire seco | | | |
| 1 | 21 | 85 | 0,01326 | 17 | 100 | 0,01213 | 0,001129 | 17 | 1085,1 |
| 2 | 26 | 86 | 0,0182766 | 15 | 100 | 0,0106484 | 0,0076282 | 17 | 7331,3 |
| 3 | 25 | 86 | 0,0171937 | 14 | 100 | 0,009971 | 0,0072227 | 17 | 6941,5 |
| 4 | 21 | 86 | 0,0134164 | 13 | 100 | 0,0093326 | 0,0040838 | 17 | 3924,8 |
| Kg agua condensada durante las horas de menor T° | | | | | | | | | 19283 |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Se repite lo hecho anteriormente y se suma las cantidades recuperadas durante las horas de mayor y menor temperatura del día y se tiene que por cada producción de malta durante la estación de verano se puede recuperar un total de 24,3 metros cúbicos de agua, al tener un promedio de 40 producciones al mes, el volumen de recuperación de agua condensada llegaría a 972 metros cúbicos al mes.

2.2 Implementación del sistema de captación de agua

Para poder usar el agua que se condensa en los radiadores en los condensadores evaporativos es necesario implementar un sistema

de captación que permita primeramente: tomar el agua desde donde se genera, es decir, la cámara bajo los radiadores, cuidando de que se contamine lo menos posible; luego transportarla hasta un punto o tanque donde sea recolectada, y que esta conserve su temperatura; y luego del punto de recolección enviarla hacia los tres condensadores evaporativos de la maltería.

2.3.1 Determinación de requerimientos de captación de agua en cada saladín.

La maltería cuenta con 7 saladines que se encuentran uno al lado del otro. Cada uno tiene unas dimensiones de 30 x 8 metros. En las cámaras que se encuentran bajo los radiadores de cada saladín hay una tubería de desagüe que se conecta a otra tubería mayor que traspasa a lo largo de toda el área de germinación, recolectando el agua de las cámaras de los siete saladines, y al final se conecta con la tubería de efluentes de la planta. Esta tubería se encuentra ubicada en un piso inferior al de las cámaras, que es el área de los transportadores de la malta que es descargada de los saladines después de la tostación.

Cabe indicar que al finalizar cada batch de producción se realiza limpieza con agua, tanto del radiador, como de la cámara bajo el mismo, razón por lo que la tubería de desagüe actual no puede ser usada para recolectar el agua a recuperar, ya que se necesita que esta agua llegue lo más limpia posible a los condensadores. Esto indica que habría que colocar un sistema de tuberías adicional para el transporte del condensado durante la germinación que irá colocado junto a la tubería ya existente. Para alternar entre el uso de estas dos tuberías se usará tapones de PVC en la entrada de la tubería que no sea necesaria. Durante la limpieza el agua saldrá por la tubería actual y durante el periodo de germinación el agua saldrá por la nueva tubería.

También para asegurar aún más la calidad del agua a recuperar, la tubería del condensado es colocada cinco centímetros por encima de la superficie del piso de la cámara, de esta manera el agua entra a la tubería por rebose, haciendo que impurezas mayores se asienten en el piso y no sean enviadas al tanque colector.

2.3.2 Requerimientos de recorrido de líneas de captación y punto de recolección de agua.

Para conservar la temperatura del agua de condensado, la tubería es cubierta con aislamiento térmico, desde la captación en las cámaras bajo los saladines hasta el punto de recolección de agua.

Para diseñar el punto de recolección, se parte del máximo de agua que se puede generar por hora. Para esto se toma, según los cálculos anteriores, el tiempo en el año donde se produce más condensado, que es durante los días de invierno. Se tiene que cada saladín puede generar como máximo 0,4 metros cúbicos por hora aproximadamente, el número máximo de saladines que pueden estar en germinación a la vez son seis, esto da un total de 2,5 metros cúbicos de agua condensada para recuperar cada hora, que sería un tamaño de tanque adecuado. Ya que el mercado ofrece tanques resistentes de plástico de 2,7 m³ de capacidad, se optó por esta opción.

El tanque se ubica en el mismo piso de donde se instala la línea de tuberías que trasladan el agua, al final de la misma junto al último saladín. Cabe indicar que toda el agua llega al tanque por gravedad.

2.3.3 Determinación de requerimientos de líneas de agua hacia los condensadores.

Una vez el agua está en el tanque, solo queda instalar un sistema de tuberías que envíe el agua a los tres condensadores evaporativos de la maltería. Estos se encuentran ubicados en la terraza del edificio que está a una altura de 20 metros sobre el nivel del tanque recolector.

Para esto, se instala una tubería que de la salida del tanque llegue hasta el nivel donde se encuentran ubicados los condensadores y se divide en tres ramas, una para cada condensador. También se instala una válvula manual en cada una, para poder direccionar el agua a los condensadores que se requiera al momento de la operación y así no desperdiciar el agua enviando a un condensador que no esté en uso. Con el objetivo de aprovechar lo mejor posible la temperatura del agua que hemos recuperado, la entrada del agua recuperada en el condensador se ubica cerca de la línea que envía el agua hacia los dispersores que se encuentran la parte superior del condensador evaporativo.

También en la línea se coloca un medidor de flujo, para cuando el sistema este operativo poder monitorear la cantidad de agua recuperada y enviada a los condensadores.

Otro dato que se necesita, es el diámetro de las tuberías de impulsión. Para esto se parte del principio de que la dimensión del diámetro debe ser tal, que las velocidades alcanzadas por el agua en el interior de las tuberías sean como máximo de 1,5 m/s, ya que velocidades de agua en el interior de los conductos inferiores a 0,5 m/s, puede originar problemas de sedimentación, mientras que velocidades superiores a los 5 m/s podría originar abrasión en las paredes interiores de las tuberías que afectarían su vida útil (15).

Con los datos de velocidad y caudal definidos, se usa la expresión que relaciona la velocidad del fluido (v) con el gasto o caudal (Q) es la siguiente:

$$Q = v \cdot A$$

donde,

$Q =$ es el caudal volumétrico o flujo de agua que circula por la tubería en m^3/h ;

v = es la velocidad del agua en el interior de la tubería en m/s ;

A = es el área de la sección interna de la tubería o también $(\pi \cdot D^2 / 4)$, siendo D el diámetro interior de la tubería, en mm .

Por lo tanto, sustituyendo y despejando (v) de la expresión anterior:

$$V = \frac{Q}{A}$$

o bien,

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

La expresión anterior toma la siguiente forma en función del sistema de unidades empleados para medir el caudal:

$$V = \frac{354Q}{D^2}$$

Aplicando esta fórmula, con los datos ya mencionados, el diámetro mínimo resultante se muestra a continuación:

Velocidad = 1 m /s

$$\text{Caudal} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Diámetro: 29,8 mm.

Se usa una tabla del proveedor de tuberías que se puede apreciar en el apéndice E de los diferentes diámetros disponibles para el bombeo de agua en tuberías de polietileno (PE) y basado en los datos, se elige la siguiente tubería:

- Espesor de pared del tubo: *2,0 mm*;
- Diámetro libre interior: *36,0 mm*.
- Diámetro nominal (DN): *36 mm*;

2.3.4 Cálculo de bomba requerida.

Para la elección de la bomba hay ciertas características que se debe definir, una de ellas es el caudal, que ya se conoce que es máximo de 2,5 metros cúbicos por hora.

Otra característica a tomar en cuenta es la altura manométrica (H) total, que se compone de la suma de los siguientes términos:

$$H = H_g + P_c + 10 \times \frac{P_i - P_a}{\gamma}$$

donde,

H_g , representa a la altura geométrica que debe vencer el fluido, en *metros*;

P_c , es la pérdida de carga del fluido a su paso por las tuberías, válvulas, etc. y expresado en metros (este dato se decide no calcularlo debido a que la tubería tiene muy pocos obstáculos en su recorrido).

$P_i - P_a / \gamma$, este término representa la presión diferencial existente entre las superficies del líquido en la impulsión y la aspiración de la bomba, dividido por su peso específico. Resultado se expresa en metros. En este caso, al tratarse tanto el tanque donde se realiza la aspiración como los condensadores evaporativos que es el depósito final de la impulsión, están en espacios abiertos a la atmósfera, resulta que las presiones de aspiración e impulsión en la superficie del líquido serán iguales ($P_a = P_i$) y por lo tanto esta componente resultará cero ($P_a - P_i = 0$) y no deberá ser tomado en cuenta (12).

De esta manera se determinó, que la altura manométrica que debe proporcionar la bomba, sólo deberá tomar en cuenta la altura geométrica que debe superar el agua para llegar a los condensadores evaporativos (13).

Entonces se tiene que las condiciones de diseño de la bomba serán:

Caudal = $2,5 \text{ m}^3/\text{hora}$

Altura manométrica = 20 m.

Para la selección de la bomba, cada fabricante dispone de una tabla de selección rápida que permite obtener el modelo de bomba que mejores prestaciones ofrece de entre toda la gama de bombas que presenta. En estas tablas se entra con los valores de caudal y altura manométrica que debe ofrecer la bomba, y que han sido calculados previamente.

En este caso, se ha optado por seleccionar el equipo de bombeo del fabricante *SACI pumps*, de cuyos catálogos se puede extraer la tabla

de selección rápida de bombas que se puede revisar en el apéndice F.

Así, se obtiene la suficiente información sobre las características de la bomba de nuestro sistema de recuperación de agua.

CAPITULO 3

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 PRUEBAS REALIZADAS AL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA

Una vez instalado todo el sistema de recuperación de agua, se realizó pruebas para verificar la adecuada operación del mismo. Cabe destacar que para facilidad del operador, para el encendido y apagado de la bomba, se coloca un control en la pantalla de operación de la maltería.

En las pruebas realizadas se revisa lo siguiente:

- Comunicación de la bomba con el sistema operativo de la maltería. (on/off).

- Correcto funcionamiento de la bomba.
- Fugas en tuberías y/o uniones.
- Sellado de tapones de tuberías de desagüe en cada cámara bajo los radiadores.
- Condiciones en que llega el agua recuperada al tanque recolector (presencia suciedad, tierra, etc.).
- Verificación de tiempos de llenado y vaciado de tanque recolector de agua condensada.

De las pruebas se determinaron las siguientes observaciones:

- La comunicación de la bomba con el sistema operativo de la maltería funciona correctamente.
- La bomba funciona correctamente.
- No se encontró fugas en el sistema de tuberías instalado.

- Los tapones no son completamente herméticos para el paso del agua, pero la cantidad que se desperdicia es mínima.
- El agua llega al tanque sin ningún tipo de contaminación.
- Los tiempos de llenado del tanque fueron de aproximadamente una hora y media.
- Los tiempos de vaciado del tanque fueron cerca de una hora aproximadamente.

Con estas observaciones, se dio el visto bueno a la instalación del sistema de recuperación de agua condensada.

A pesar de ello, se vio una oportunidad de mejora al sistema. Ya que debido a los cortos tiempos de vaciado y llenado del tanque, el control operativo de la bomba se complicaba, ya que este dependía totalmente del operador para su encendido y apagado. Si la bomba no era encendida a tiempo, se generaba desperdicio de agua, y también si por el contrario, no era apagada a tiempo, el succionar aire podía averiar la misma.

La mejora al sistema fue el de colocar dos sensores de nivel al tanque, uno que en la parte superior que indique que el tanque está lleno, el cual activa el encendido de la bomba. El otro sensor es de vaciado de la bomba que da la señal para que la bomba se apague. De esta manera el sistema funciona automáticamente y se disminuye carga al operador de turno.

3.2 Resultados reales de volúmenes de captación

Después de que el sistema estuvo completamente operativo y funcionando automáticamente, se monitoreo el dato de cantidad de agua recuperada y enviada a los condensadores, con la ayuda del medidor en línea que fue instalado en la tubería.

Los datos recogidos corresponden al primer mes de operación del sistema, desde mediados de Abril, a mediados de Mayo, es decir, aún en época de invierno.

Durante el primer mes la cantidad de agua recuperada fue de 1.230 metros cúbicos de agua. A pesar de que este valor es menor al proyectado en los cálculos realizados para temporada de invierno,

antes la implementación del sistema (1.616 metros cúbicos), no deja de ser significativo para el ahorro de agua en la maltería.

3.4 Impacto financiero de la mejora

Uno de los objetivos de aprovechar la oportunidad de ahorro de agua que se presenta en la maltería, con la recuperación de condensado en los radiadores de germinación, es la de disminuir los costos en la producción. Después de un mes de estar en operación el sistema de recuperación se puede conocer el impacto financiero que la implementación del mismo tiene en los costos de producción en la maltería, especialmente en el del agua.

Para hacer referencia, se compara los datos obtenidos desde la mejora, con los datos del mes inmediatamente anterior, correspondientes a los meses de Abril y Marzo respectivamente, ya que ambos meses son en temporada invernal las demandas en refrigeración son similares.

Durante el mes de Marzo el consumo de agua en los condensadores evaporativos fue de 2.550 metros cúbicos. Después de la implementación del sistema, que en el mes de abril logró recuperar

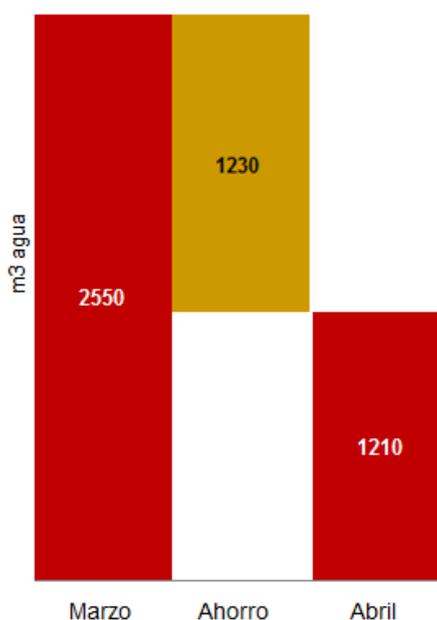
1.230 metros cúbicos, el consumo de agua de la red, es decir, el agua que se paga, bajó a 1.320 metros cúbicos. Esto se puede observar en la tabla 10.

Tabla 10. Consumo de agua condensadores antes y después de la recuperación de condensado

| Consumo agua condensadores m ³ | |
|---|-------|
| Mes anterior a implementación sistema | 2.550 |
| Mes con sistema implementado | 1.210 |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Figura 3.1. Gráfica con los consumos y ahorro de agua en condensadores evaporativos.



Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

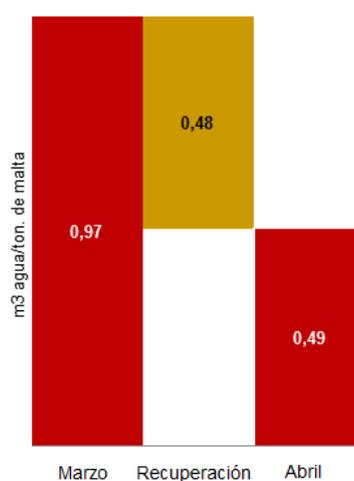
Otra manera de verlo es basándose en el indicador de consumo de agua de la planta, que está dado en metros cúbicos de agua por tonelada de malta producida, en este caso se toma un promedio de los últimos tres meses que es 2.460 toneladas. Así se tiene que:

Tabla 11. Indicadores de consumo de agua antes y después de la implementación del sistema

| Indicador de consumo agua condensadores m ³ /ton. de malta | |
|---|------|
| Mes anterior a implementación sistema | 0,97 |
| Mes con sistema implementado | 0,47 |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

Figura 3.2. Gráfica con los indicadores de agua en condensadores evaporativos antes y después de la implementación.

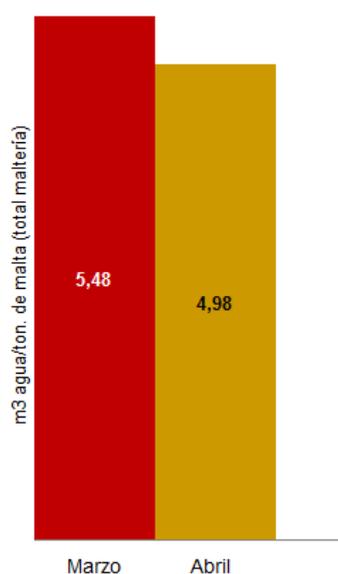


Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

En la figura 3.2., el valor de 0,48 que se encuentra en la barra de color mostaza, indica la cantidad en que se redujo el indicador con el sistema de recuperación funcionando.

Hay que tomar en cuenta que el consumo de agua en condensadores evaporativos es solo un ítem del consumo total de agua de la maltería. Analizando globalmente el consumo de agua se tiene que el indicador se redujo de la siguiente manera:

Figura 3.3. Indicadores de consumo de agua antes y después de la implementación del sistema



Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

La reducción de 5,48 a 4,98 metros cúbicos de agua por cada tonelada de malta producida, representa un ahorro de 0,5 en el indicador. Al tomar el precio por metro cúbico del agua de la red a la empresa, el ahorro en dólares nos da:

Tabla 12. Ahorro real generado

| Ahorro real generado | |
|---|-------------|
| Disminución en el indicador | 0,5 |
| Malta promedio producida al mes (toneladas) | 2.460 |
| Ahorro en dólares | \$ 3.075,00 |

Fuente: Paulo Rodríguez (2014)

El ahorro mensual generado es de \$ 3.075,00. Este valor variará mes a mes, ya que depende de muchos factores, como por ejemplo; las condiciones climáticas, que inciden directamente en la cantidad de condensado generado, o también por la merma generada por el tipo de cebada malteada. Pero no deja de ser un indicativo del ahorro potencial a generar.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El método utilizado, para la estimación del agua a recuperar y con el que después se elaboró el diseño del sistema de recuperación, fue el adecuado ya que una vez operativo el sistema no se presentaron mayores inconvenientes en su funcionamiento.
2. Debido a las condiciones climáticas normales de humedad presente en el ambiente, el volumen estimado de agua a recuperar en verano es de 972 m³/mes es significativamente inferior al estimado para el mes de invierno de 1.616 m³/mes, por lo que el impacto de ahorro del sistema de

recuperación de agua será mayor durante los seis meses de temporada invernal cada año.

3. A pesar de que los resultados reales de recuperación de agua son ligeramente inferiores a los pronosticados, el cálculo estimado ayudo al diseño del sistema de recuperación y los volúmenes recuperados son significativos para la operación y el objetivo principal de disminución en el consumo de agua en la maltería es alcanzado.
4. El ahorro generado en el primer mes de funcionamiento del sistema de recuperación de agua es de \$ 3.075,00, lo que hace muy rentable la implementación del sistema en el corto plazo.

Recomendaciones

1. Se observa que la cantidad de agua recuperada podría ser mejorada si es que se revisan detalles como el del tapón del desagüe en los cuartos de recuperación, los cuales no son totalmente herméticos.
2. Llevar información detallada del consumo eléctrico para poder evaluar futuros beneficios en este ítem, especialmente si el volumen de agua que se esté recuperando sea mayor con las mejoras en los taponés.

3. Para llevar un control adecuado de que la cantidad de agua recuperándose es la que el sistema está capacitado a recuperar, debe llevarse un nuevo indicador en la planta que muestre los volúmenes de agua condensada enviados al condensador, con el fin de establecer los valores normales de condensado generado y detectar desviaciones.

4. Se puede aprovechar la temperatura fría del agua recuperada para usarla con otros fines, como la limpieza de las cajas germinadoras (saladines), que además de representar también un ahorro en el consumo, tendría el beneficio extra de ayudar a enfriar más rápidamente la temperatura de las paredes de los saladines y de esta manera alcanzar temperaturas de germinación en un menor tiempo.

BIBLIOGRAFIA

1. ASAE, ASAE D271.2. Agricultural Engineers Yearbook. American Society of Agricultural Engineers, 1980.
2. ASHRAE, Handbook of fundamentals. American Society Heating Refrigerating Air Conditioning Engineers, 1977.
3. BAMFORTH CHARLES W., "Scientific Principles of Malting and Brewing", American Society of Brewing Chemists, 2006.
4. BRIGGS D.E., HOUGH J.S., STEVENS R., T.W. YOUNG, "Malting and Brewing Science, Aspen Publishers Inc., Volume 1, Malt and Sweet Worth, 1981.
5. BRISSART R., BRAUNINGER U., HAYDON S., MORAND R., PALMER G., SAUVAGE R., "Malting Technology (Manual of good practice)", Fachverlag Hans Carl, 2000.
6. EVAPCO, http://www.evapco.com/products/pmce_evaporative_condenser, Evapco Incorporated, 2011.
7. FAO, <http://www.fao.org/docrep/x5057s/x5057S00.htm#Contents>, Food and Agriculture Organization, 2014.

8. HAZEN, T.E.; CURRY, N.H. "Psychrometry in agricultural engineering" 1978.
9. HUNDY G.F, TROTT A.R., WELCH T.C., "Refrigeration and Air Conditioning", Butterworth-Heinemann, Cuarta edición, 2008.
10. LAPUERTA MAGIN, ARMAS OCTAVIO, "Frío Industrial y Aire Acondicionado", Universidad de Castilla La Mancha, 2012.
11. MALTEAR, <http://www.maltear.com/malta.html>, Maltería Argentina, 2009.
12. RODRÍGUEZ GALBARRO HERMENEGILDO,
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.htm>, Sevilla,
España, 2013.
13. ROLDÁN JOSÉ, "Prontuario básico de fluidos", Editorial Paraninfo, 2002.
14. SARKIS JHONY, MIRANDA LUIS,
<http://grupo4exameninstrumentacion.blogspot.com/>, 2008.
15. VARETTO RAÚL H., "Tuberías", Francisco Etchelecu, Primera edición, 2011.

APENDICES

APÉNDICE A

DATOS DE VELOCIDAD DE AIRE PARA VERIFICACIÓN DE CAUDAL EN SALADÍN NÚMERO 2

**APÉN
DICE B**

| SALADIN # 2 | | % POTENCIA VENTILADORES | | | 75% | CAUDAL POR ABERTURA (m3/s) |
|--|-----------|-------------------------|------|------|-------|-------------------------------|
| ABERTURA # | AREA (m2) | DATOS VELOCIDAD (m/s) | | | | |
| 1 | 0,084 | 4,0 | 5,0 | 5,0 | 0,56 | |
| | | 6,0 | 9,0 | 7,1 | | |
| | | 8,0 | 8,1 | 8,3 | | |
| 2 | 0,1596 | 4,8 | 8,1 | 7,5 | 1,35 | |
| | | 9,6 | 10,1 | 9,1 | | |
| | | 9,4 | 9,1 | 8,5 | | |
| 3 | 0,1596 | 9,0 | 9,0 | 10,5 | 1,48 | |
| | | 8,6 | 9,0 | 9,7 | | |
| | | 9,1 | 9,0 | 9,3 | | |
| 4 | 0,1596 | 8,9 | 9,1 | 9,8 | 1,42 | |
| | | 8,4 | 9,0 | 9,1 | | |
| | | 8,4 | 8,0 | 9,2 | | |
| 5 | 0,1596 | 8,8 | 8,7 | 9,4 | 1,30 | |
| | | 6,7 | 7,3 | 8,9 | | |
| | | 7,2 | 7,1 | 9,3 | | |
| 6 | 0,1596 | 8,8 | 7,8 | 9,9 | 1,31 | |
| | | 7,5 | 8,0 | 8,0 | | |
| | | 8,0 | 7,0 | 8,8 | | |
| 7 | 0,1596 | 8,9 | 8,8 | 10,0 | 1,42 | |
| | | 8,3 | 9,0 | 9,3 | | |
| | | 8,5 | 8,6 | 8,9 | | |
| 8 | 0,1596 | 8,9 | 8,6 | 9,7 | 1,39 | |
| | | 8,5 | 7,4 | 9,2 | | |
| | | 9,0 | 8,0 | 9,0 | | |
| 9 | 0,1596 | 9,5 | 9,8 | 10,1 | 1,41 | |
| | | 8,5 | 8,0 | 9,8 | | |
| | | 8,0 | 7,0 | 8,7 | | |
| 10 | 0,0816 | 9,9 | 11,7 | 11,8 | 0,72 | |
| | | 9,1 | 5,8 | 10,2 | | |
| | | 7,5 | 5,3 | 8,5 | | |
| Sumatoria caudal individual por abertura de persiana m3/s | | | | | 12,36 | |
| Caudal total m3/h | | | | | 44506 | |

OCIDAD DE AIRE PARA VERIFICACIÓN DE CAUDAL EN EL SALADÍN NÚMERO 6

| SALADIN # 6 | | % POTENCIA VENTILADORES | | | 75% | CAUDAL POR ABERTURA (m3/s) |
|--|-----------|-------------------------|------|------|-------|-------------------------------|
| ABERTURA # | AREA (m2) | DATOS VELOCIDAD (m/s) | | | | |
| 1 | 0,108 | 2,2 | 2,3 | 4,0 | 0,79 | |
| | | 8,0 | 8,5 | 10,2 | | |
| | | 10,7 | 10,0 | 9,8 | | |
| 2 | 0,156 | 9,0 | 10,7 | 10,1 | 1,52 | |
| | | 9,5 | 10,0 | 10,0 | | |
| | | 10,1 | 9,2 | 9,2 | | |
| 3 | 0,156 | 9,7 | 9,5 | 10,5 | 1,57 | |
| | | 10,0 | 10,6 | 9,9 | | |
| | | 10,2 | 10,3 | 9,9 | | |
| 4 | 0,156 | 9,0 | 9,1 | 9,5 | 1,43 | |
| | | 9,2 | 9,1 | 9,3 | | |
| | | 9,1 | 8,9 | 9,4 | | |
| 5 | 0,156 | 8,5 | 9,7 | 10,1 | 1,45 | |
| | | 9,6 | 9,0 | 8,0 | | |
| | | 9,6 | 9,4 | 9,6 | | |
| 6 | 0,156 | 9,5 | 8,9 | 9,3 | 1,38 | |
| | | 9,0 | 8,6 | 8,1 | | |
| | | 8,7 | 8,3 | 9,2 | | |
| 7 | 0,156 | 8,0 | 9,6 | 9,0 | 1,41 | |
| | | 9,0 | 9,1 | 9,0 | | |
| | | 10,0 | 8,8 | 9,1 | | |
| 8 | 0,156 | 9,8 | 8,5 | 9,9 | 1,41 | |
| | | 8,6 | 8,8 | 9,8 | | |
| | | 8,0 | 8,9 | 9,3 | | |
| 9 | 0,1596 | 9,5 | 8,1 | 10,3 | 1,52 | |
| | | 10,3 | 9,1 | 9,9 | | |
| | | 10,6 | 8,7 | 9,0 | | |
| 10 | 0,102 | 9,8 | 8,2 | 9,6 | 0,79 | |
| | | 7,6 | 8,5 | 9,1 | | |
| | | 6,5 | 5,7 | 4,9 | | |
| Sumatoria caudal individual por abertura de persiana m3/s | | | | | 13,28 | |
| Caudal total m3/h | | | | | 47796 | |

APÉNDICE C

PROPIEDADES DEL VAPOR DE AGUA SATURADO

| Temp. de Saturación °C | Presión de Vapor (Absoluta) | | Volumen Específico m³/kg | Peso del Vapor | | | Entalpía kcal/kg | | |
|------------------------|-----------------------------|--------|--------------------------|----------------|------------------|-------------|------------------|---------|--------|
| | kPa | psia | | Densidad kg/m³ | Humedad Absoluta | | Sensible | Latente | Total |
| | | | | | g/m³ | granos/pie³ | | | |
| 0 | 0.61 | 0.0885 | 206.32 | 0.004847 | 4.84 | 2.11 | 0 | 597.66 | 597.66 |
| 1 | 0.65 | 0.0945 | 194.10 | 0.005152 | 5.15 | 2.25 | 1 | 596.87 | 597.87 |
| 2 | 0.7 | 0.1023 | 179.58 | 0.005569 | 5.57 | 2.43 | 2 | 596.28 | 598.28 |
| 3 | 0.76 | 0.1098 | 168.18 | 0.005946 | 5.95 | 2.60 | 3 | 595.68 | 298.68 |
| 4 | 0.81 | 0.1179 | 157.40 | 0.006353 | 6.35 | 2.77 | 4 | 595.09 | 599.09 |
| 5 | 0.87 | 0.1265 | 147.14 | 0.006796 | 6.79 | 2.97 | 5 | 594.53 | 599.53 |
| 6 | 0.93 | 0.1356 | 137.74 | 0.007260 | 7.26 | 3.18 | 6 | 593.93 | 599.93 |
| 7 | 1.00 | 0.1452 | 129.04 | 0.007750 | 7.75 | 3.38 | 7 | 593.37 | 600.37 |
| 8 | 1.07 | 0.1556 | 120.95 | 0.008268 | 8.27 | 3.61 | 8 | 592.79 | 600.79 |
| 9 | 1.15 | 0.1664 | 113.39 | 0.008819 | 8.82 | 3.85 | 9 | 592.25 | 601.25 |
| 10 | 1.23 | 0.1780 | 106.37 | 0.009401 | 9.40 | 4.10 | 10 | 292.03 | 602.03 |
| 11 | 1.31 | 0.1903 | 99.90 | 0.01001 | 10.01 | 4.37 | 11 | 591.10 | 602.10 |
| 12 | 1.40 | 0.2033 | 93.82 | 0.01066 | 10.66 | 4.66 | 12 | 590.56 | 602.56 |
| 13 | 1.50 | 0.2187 | 88.13 | 0.01135 | 11.35 | 4.96 | 13 | 589.98 | 602.98 |
| 14 | 1.60 | 0.2317 | 82.85 | 0.01207 | 12.07 | 5.27 | 14 | 589.41 | 603.41 |
| 15 | 1.70 | 0.2472 | 77.97 | 0.01283 | 12.83 | 5.60 | 15 | 588.87 | 603.87 |
| 16 | 1.82 | 0.2636 | 73.35 | 0.01363 | 13.63 | 5.96 | 16 | 588.31 | 604.31 |
| 17 | 1.94 | 0.2809 | 69.09 | 0.01447 | 14.47 | 6.32 | 17 | 587.72 | 604.72 |
| 18 | 2.06 | 0.2992 | 65.07 | 0.01537 | 15.37 | 6.72 | 18 | 587.18 | 605.18 |
| 19 | 2.20 | 0.3186 | 61.32 | 0.01631 | 16.31 | 7.13 | 19 | 586.59 | 605.59 |
| 20 | 2.33 | 0.3390 | 57.81 | 0.01730 | 17.30 | 7.56 | 20 | 586.03 | 606.03 |
| 21 | 2.48 | 0.3606 | 54.54 | 0.01834 | 18.34 | 8.01 | 21 | 585.48 | 606.48 |
| 22 | 2.64 | 0.3834 | 51.48 | 0.01943 | 19.43 | 8.48 | 22 | 584.89 | 606.89 |
| 23 | 2.83 | 0.4102 | 48.60 | 0.02058 | 20.58 | 8.99 | 23 | 584.34 | 607.34 |
| 24 | 2.98 | 0.4327 | 45.91 | 0.02178 | 21.78 | 9.52 | 24 | 583.76 | 607.76 |
| 25 | 3.16 | 0.4593 | 43.38 | 0.02305 | 23.05 | 10.07 | 25 | 583.20 | 608.20 |
| 26 | 3.36 | 0.4875 | 41.02 | 0.02438 | 24.38 | 10.65 | 26 | 582.65 | 608.65 |
| 27 | 3.56 | 0.5171 | 38.80 | 0.02577 | 25.77 | 11.26 | 27 | 582.09 | 609.09 |
| 28 | 3.78 | 0.5482 | 36.72 | 0.02723 | 27.23 | 11.90 | 28 | 581.45 | 609.45 |
| 29 | 4.00 | 0.5810 | 34.76 | 0.02876 | 28.76 | 12.57 | 29 | 580.93 | 609.93 |
| 30 | 4.24 | 0.6154 | 32.91 | 0.03038 | 30.38 | 13.27 | 30 | 580.43 | 610.43 |
| 31 | 4.49 | 0.6517 | 31.18 | 0.03207 | 32.07 | 14.01 | 31 | 579.87 | 610.87 |
| 32 | 4.75 | 0.6897 | 29.56 | 0.03383 | 33.83 | 14.78 | 32 | 579.28 | 611.28 |

APÉND

ICE D

**PROPIEDADES DE MEZCLAS DE AIRE SECO Y
VAPOR DE AGUA SATURADO, A LA PRESIÓN
ATMOSFÉRICA (101,3 KPA)**

| TEMP. °C | Volumen Especifico m³/kg | Densidad kg/m³ | Contenido de Humedad | | Entalpia (cont. de calor) kcal/kg | | |
|-------------|--------------------------------|-------------------|----------------------|-----------|--------------------------------------|----------------------|---------|
| | | | g/kg | granos/lb | aire seco (sensible) | humedad (latente) | Total |
| -10 | 0.7472 | 1.3383 | 0.725 | 11.19 | 1.8778 | 0.9613 | 2.8391 |
| -9 | 0.7501 | 1.3332 | 0.793 | 12.24 | 2.1179 | 1.0512 | 3.1691 |
| -8 | 0.7515 | 1.3307 | 0.841 | 12.98 | 2.3580 | 1.1467 | 3.5047 |
| -7 | 0.7561 | 1.3226 | 0.945 | 14.58 | 2.5980 | 1.2522 | 3.8502 |
| -6 | 0.7595 | 1.3167 | 1.026 | 15.83 | 2.8391 | 1.3623 | 4.2014 |
| -5 | 0.7628 | 1.3110 | 1.124 | 17.35 | 3.0835 | 1.4835 | 4.5670 |
| -4 | 0.7656 | 1.3062 | 1.224 | 18.89 | 3.3235 | 1.6124 | 4.9359 |
| -3 | 0.7690 | 1.3004 | 1.333 | 20.57 | 3.5636 | 1.7556 | 5.3192 |
| -2 | 0.7720 | 1.2953 | 1.450 | 22.38 | 3.8035 | 1.9102 | 5.7137 |
| -1 | 0.7751 | 1.2902 | 1.577 | 24.34 | 4.0447 | 2.0757 | 6.1204 |
| 0 | 0.7785 | 1.2845 | 1.716 | 26.48 | 4.2892 | 2.2557 | 6.5449 |
| 1 | 0.7812 | 1.2801 | 1.845 | 28.47 | 4.5292 | 2.4246 | 6.9538 |
| 2 | 0.7846 | 1.2745 | 1.983 | 30.60 | 4.7692 | 2.4879 | 7.2571 |
| 3 | 0.7880 | 1.2690 | 2.13 | 32.87 | 5.0148 | 2.7890 | 7.8038 |
| 4 | 0.7913 | 1.2637 | 2.287 | 35.29 | 5.2548 | 2.9957 | 8.2505 |
| 5 | 0.7947 | 1.2583 | 2.454 | 37.87 | 5.4948 | 3.2113 | 8.7061 |
| 6 | 0.7981 | 1.253 | 2.632 | 40.62 | 5.7404 | 3.4402 | 9.1806 |
| 7 | 0.8014 | 1.2478 | 2.823 | 43.56 | 5.9804 | 3.6832 | 9.6639 |
| 8 | 0.8048 | 1.2425 | 3.024 | 46.67 | 6.2204 | 3.9436 | 10.1640 |
| 9 | 0.8082 | 1.2373 | 3.239 | 49.98 | 6.4615 | 4.2203 | 10.6818 |
| 10 | 0.8116 | 1.2321 | 3.467 | 53.50 | 6.7060 | 4.5114 | 11.2174 |
| 11 | 0.8154 | 1.2264 | 3.708 | 57.22 | 6.9460 | 5.1414 | 12.0874 |
| 12 | 0.8189 | 1.2212 | 3.967 | 61.22 | 7.1860 | 5.1581 | 12.3441 |
| 13 | 0.8250 | 1.2121 | 4.237 | 65.38 | 7.3983 | 5.5359 | 12.9342 |
| 14 | 0.8263 | 1.2102 | 4.529 | 69.89 | 7.6716 | 5.8715 | 13.5431 |
| 15 | 0.8303 | 1.2044 | 4.835 | 74.61 | 7.9116 | 6.2671 | 14.1787 |
| 16 | 0.8336 | 1.1996 | 5.161 | 79.64 | 8.1183 | 6.7204 | 14.8387 |
| 17 | 0.8376 | 1.1939 | 5.408 | 83.45 | 8.3972 | 7.1260 | 15.5232 |
| 18 | 0.8416 | 1.1882 | 5.873 | 90.63 | 8.6372 | 7.5961 | 16.2333 |
| 19 | 0.8458 | 1.1823 | 6.260 | 96.60 | 8.8772 | 8.0917 | 16.9689 |
| 20 | 0.8496 | 1.1770 | 6.672 | 102.96 | 9.1228 | 8.6117 | 17.7345 |
| 21 | 0.8541 | 1.1708 | 7.109 | 109.71 | 9.3628 | 9.1662 | 18.5290 |
| 22 | 0.8583 | 1.1651 | 7.438 | 114.78 | 9.6028 | 9.7507 | 19.3535 |
| 23 | 0.8625 | 1.1594 | 8.055 | 124.30 | 9.8484 | 10.3651 | 20.2135 |
| 24 | 0.8670 | 1.1534 | 8.573 | 132.30 | 10.0706 | 11.0385 | 21.1091 |
| 25 | 0.8715 | 1.1474 | 9.117 | 140.69 | 10.3284 | 11.7119 | 22.0403 |

APÉNDICE E

MEDIDAS DE ESPESOR Y DIÁMETROS DISPONIBLES POR FABRICANTE DE TUBERÍAS

| DN / De | Espesor Nominal y Diámetro interior (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | e | Di | e | Di | e | Di | e | Di | e | Di | e | Di | e | Di | e | Di |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | 2.0 | 21.0 | 2.3 | 20.4 | 3.0 | 19.0 | 3.5 | 18.0 | |
| 32 | | | | | | | 2.0 | 28.0 | 2.4 | 27.2 | 3.0 | 26.0 | 3.6 | 24.8 | 4.4 | 23.2 |
| 40 | | | | | 2.0 | 36.0 | 2.4 | 35.2 | 3.0 | 34.0 | 3.7 | 32.6 | 4.5 | 31.0 | 5.5 | 29.0 |
| 50 | | 2.0 | 46.0 | 2.4 | 45.2 | 3.0 | 44.0 | 3.7 | 42.6 | 4.6 | 40.8 | 5.6 | 38.4 | 6.9 | 36.2 | |
| 63 | | 2.5 | 58.0 | 3.0 | 57.0 | 3.8 | 55.4 | 4.7 | 53.6 | 5.8 | 51.4 | 7.1 | 48.8 | 8.6 | 45.8 | |
| 75 | | 2.9 | 69.2 | 3.6 | 67.8 | 4.5 | 66.0 | 5.6 | 63.8 | 6.8 | 61.4 | 8.4 | 58.2 | 10.3 | 54.4 | |
| 90 | | 3.5 | 83.0 | 4.3 | 81.4 | 5.4 | 79.2 | 6.7 | 76.6 | 8.2 | 73.6 | 10.1 | 69.8 | 12.3 | 65.4 | |
| 110 | | 4.2 | 101.8 | 5.3 | 99.4 | 6.6 | 96.8 | 8.1 | 93.8 | 10.0 | 90.0 | 12.3 | 85.4 | 15.1 | 79.8 | |
| 125 | | 4.8 | 115.4 | 6.0 | 113.0 | 7.4 | 110.2 | 9.2 | 106.6 | 11.4 | 102.2 | 14.0 | 97.0 | 17.1 | 90.8 | |
| 140 | | 5.4 | 129.2 | 6.7 | 126.6 | 8.3 | 123.4 | 10.3 | 119.4 | 12.7 | 114.6 | 15.7 | 108.6 | 19.2 | 101.6 | |
| 160 | | 6.2 | 147.6 | 7.7 | 144.6 | 9.5 | 141.0 | 11.8 | 136.4 | 14.6 | 130.8 | 17.9 | 124.2 | 21.9 | 116.2 | |
| 180 | | 6.9 | 166.2 | 8.6 | 162.8 | 10.7 | 158.6 | 13.3 | 153.4 | 16.4 | 147.2 | 20.1 | 139.8 | 24.6 | 130.8 | |
| 200 | | 7.7 | 184.6 | 9.6 | 180.8 | 11.9 | 176.2 | 14.7 | 170.6 | 18.2 | 163.6 | 22.4 | 155.2 | 27.4 | 145.2 | |
| 225 | | 8.6 | 207.8 | 10.8 | 203.4 | 13.4 | 198.2 | 16.6 | 191.8 | 20.5 | 184.0 | 25.2 | 174.6 | 30.8 | 163.4 | |
| 250 | | 9.6 | 230.8 | 11.9 | 226.2 | 14.8 | 220.4 | 18.4 | 213.2 | 22.7 | 204.6 | 27.9 | 194.2 | 34.2 | 181.6 | |
| 280 | | 10.7 | 258.6 | 13.4 | 253.2 | 16.6 | 246.8 | 20.6 | 238.8 | 25.4 | 229.2 | 31.3 | 217.4 | 38.3 | 203.4 | |
| 315 | 9.7 | 295.6 | 12.1 | 290.8 | 15.0 | 285.0 | 18.7 | 277.6 | 23.2 | 268.6 | 28.6 | 257.8 | 35.2 | 244.6 | 43.1 | 228.8 |
| 355 | 10.9 | 333.2 | 13.6 | 327.8 | 16.9 | 321.2 | 21.1 | 312.8 | 26.1 | 302.8 | 32.2 | 290.6 | 39.7 | 275.6 | 48.5 | 258.0 |
| 400 | 12.3 | 375.4 | 15.3 | 369.4 | 19.1 | 361.8 | 23.7 | 352.6 | 29.4 | 341.2 | 36.3 | 327.4 | 44.7 | 310.6 | 54.7 | 290.6 |
| 450 | 13.8 | 422.4 | 17.2 | 415.6 | 21.5 | 407.0 | 26.7 | 396.6 | 33.1 | 383.8 | 40.9 | 368.2 | 50.3 | 349.4 | 61.5 | 327.0 |
| 500 | 15.3 | 469.4 | 19.1 | 461.8 | 23.9 | 452.2 | 29.7 | 440.6 | 36.8 | 426.4 | 45.4 | 409.2 | 55.8 | 388.4 | | |
| 560 | 17.2 | 525.6 | 21.4 | 517.2 | 26.7 | 506.6 | 33.2 | 493.6 | 41.2 | 477.6 | 50.8 | 458.4 | | | | |
| 630 | 19.3 | 591.4 | 24.1 | 581.8 | 30.0 | 570.0 | 37.4 | 555.2 | 46.3 | 537.4 | 57.2 | 515.6 | | | | |
| 710 | 21.8 | 666.4 | 27.2 | 655.6 | 33.9 | 642.2 | 42.1 | 625.8 | 52.2 | 605.6 | | | | | | |
| 800 | 24.5 | 751.0 | 30.6 | 738.8 | 38.1 | 723.8 | 47.4 | 705.2 | 58.8 | 682.4 | | | | | | |
| 900 | 27.6 | 844.8 | 34.4 | 831.2 | 42.9 | 814.2 | 53.3 | 793.4 | | | | | | | | |
| 1000 | 30.6 | 938.8 | 38.2 | 923.6 | 47.7 | 904.6 | 59.3 | 881.4 | | | | | | | | |
| 1200 | 36.7 | 1126.6 | 45.9 | 1108.2 | 57.2 | 1085.6 | | | | | | | | | | |
| 1400 | 42.9 | 1314.2 | 53.5 | 1293.0 | | | | | | | | | | | | |
| 1600 | 49.0 | 1502.0 | 61.2 | 1477.6 | | | | | | | | | | | | |

e= espesor - De = Diámetro exterior - Di = Diámetro interior
 NOTA 1: En negrita se han indicado las presiones históricamente usuales y conocidas por el mercado.

APÉNDICE F

TABLA DE MODELO DE BOMBAS RECOMENDADO POR FABRICANTE SEGÚN ALTURA Y CAUDAL.

