



Análisis de la velocidad de enfriamiento y de formación de un bloque de hielo

Analysis of the speed of cooling and formation of a block of ice

Análise da velocidade de resfriamento e formação de um bloco de gelo

Edwin Ángel Jácome Domínguez ^I

edwin.jacome@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2870-892X>

Jorge Armando Almeida Domínguez ^{II}

jalmeidad@ups.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9133-9293>

Fausto Ulpiano Caicedo Benavides ^{III}

fcaicedo@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9289-6286>

Correspondencia: edwin.jacome@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnica y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de marzo de 2023 * **Aceptado:** 12 de abril de 2023 * **Publicado:** 10 de mayo de 2023

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- II. Universidad Politécnica Salesiana de Pichincha, UPS, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.

Resumen

En el presente trabajo se detalla el proceso de diseño, construcción y pruebas de un generador de hielo en bloques, con el fin de calcular la velocidad enfriamiento del agua, y la de formación de un bloque de hielo de 5kg. El control del sistema se realiza mediante un controlador de temperatura, un sensor de nivel y uno de temperatura. Para la adquisición de datos se elaboró una matriz con 12 sensores ubicados en las tres direcciones. La capacidad del equipo es 10 kg, dos moldes de 5 kg cada uno. Las pruebas se realizaron con agua ablandada y agua normal (de grifo) a diferentes temperaturas de la salmuera. Las pruebas se realizaron varias veces obteniendo datos diferentes, pero curvas similares. Es así que en el enfriamiento de agua normal se halló tres zonas y con agua ablandada dos zonas. En la formación de hielo tanto con agua normal como agua ablandada su comportamiento determina cuatro zonas. El enfriamiento de agua normal respecto al agua ablandada es un 30% más rápida, en la formación de hielo se puede notar que a partir del agua normal se obtiene hielo un 9,26% más rápido que con agua ablandada, pero afectando su resistencia.

Palabras Clave: bloque; diseño; generador; hielo; velocidad.

Abstract

This paper details the design, construction and testing process of a block ice generator, in order to calculate the cooling speed of the water, and the formation of a 5kg block of ice. The control of the system is carried out by means of a temperature controller, a level sensor and a temperature sensor. For data acquisition, a matrix with 12 sensors located in the three directions was developed. The capacity of the equipment is 10 kg, two molds of 5 kg each. The tests were carried out with softened water and normal (tap) water at different brine temperatures. The tests were performed several times obtaining different data, but similar curves. Thus, in normal water cooling three zones were found and with softened water two zones. In the formation of ice both with normal water and softened water, its behavior determines four zones. The cooling of normal water compared to softened water is 30% faster, in the formation of ice it can be noted that from normal water ice is obtained 9.26% faster than with softened water, but affecting its resistance.

Keywords: block; design; generator; ice; speed.

Resumo

Este trabalho detalha o processo de projeto, construção e teste de um gerador de bloco de gelo, a fim de calcular a velocidade de resfriamento da água e a formação de um bloco de gelo de 5kg. O controle do sistema é realizado por meio de um controlador de temperatura, um sensor de nível e um sensor de temperatura. Para aquisição dos dados, foi desenvolvida uma matriz com 12 sensores localizados nas três direções. A capacidade do equipamento é de 10 kg, sendo dois moldes de 5 kg cada. Os testes foram realizados com água amolecida e água normal (torneira) em diferentes temperaturas de salmoura. Os testes foram realizados várias vezes obtendo dados diferentes, mas curvas semelhantes. Assim, no resfriamento normal da água foram encontradas três zonas e com água amolecida duas zonas. Na formação do gelo tanto com água normal quanto com água amolecida, seu comportamento determina quatro zonas. O resfriamento da água normal em comparação com a água amolecida é 30% mais rápido, na formação do gelo pode-se notar que a partir da água normal o gelo é obtido 9,26% mais rápido do que com a água amolecida, mas afetando sua resistência.

Palavras-chave: bloquear; projeto; gerador; gelo; velocidade.

Introducción

En la actualidad existen diversos equipos de refrigeración y conservación de alimentos, en su mayoría son domiciliarios, pero en la industria también se la utiliza, sobre todo en la producción de alimentos procesados, industria pesquera, entre otros. Estos equipos dependiendo de la capacidad frigorífica varía su costo y su volumen por lo cual en muchos casos no se tienen los dos recursos y es necesario otra solución.

A partir de esta problemática aparecieron las plantas de producción de hielo en sus diversas presentaciones, con el suficiente espacio para producción y almacenamiento satisfaciendo así un amplio mercado, sobre todo en la zona costera, tanto para lo que es para barcos pesqueros, como para puertos de comercialización de estos productos y para enfriar bebidas en los puntos turísticos. En nuestro país estas plantas de producción de hielo han reemplazado a los antiguos hieleros (Baltasar Ushca, un quichua de 64 años, es conocido como el último hielero del Chimborazo.) que abastecían de hielo extraído de los nevados a los diversos mercados de las serranía sobre todo.

El beneficio de utilizar el generador de hielo en bloques de producción en serie, es que en la actualidad estas son las necesidades que se presentan en las industrias de alimentos, en barcos y puertos pesqueros; a fin de reducir costos de producción, espacio y tiempo, al contar con un producto ya elaborado en el momento que se lo desee usar.

En el mercado actual existen varias empresas que construyen este tipo de máquinas con costos que van desde los 5000 a 20000 dólares dependiendo de su capacidad, los principales proveedores de estas máquinas se encuentran en China.

Metodología

la metodología utilizada para realizar las pruebas de experimentación consiste diseñar un sistema de generación hielo en bloque para utilizarlo como un banco de pruebas, que trabaje de manera eficiente, de fácil limpieza, después de su uso. Pero, además se busca obtener el tamaño y condiciones normadas de hielo en uso industrial y comercial.

La máquina de hielo en bloques tradicional fabrica el hielo en moldes que se sumergen en un tanque con refrigerante secundario; por lo general salmuera, glicol u otro, en circulación. Las dimensiones de los moldes y la temperatura del refrigerante se seleccionan habitualmente de manera que el período de congelación dure entre 8 y 24 horas.

Se realizará pruebas para corroborar el correcto funcionamiento de la misma y se realizara prácticas de velocidad de enfriamiento y de congelación del agua.

Consideraciones para diseño

El tamaño del bloque de hielo propuesto equivale a formar 10 Kg de hielo en 2 moldes de 114 x 94 x 470 mm en un tiempo de 10 horas, considerando que el equipo a construir será utilizado para prácticas de laboratorio, no se necesita gran capacidad de producción, sino más bien es un estudio demostrativo de generación de hielo.

Espesor de aislante

El material seleccionado como aislante térmico es espuma de poliuretano y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$e_{poliuretano} = k_p \left(\frac{1}{U_{rec}} - \frac{1}{h_1} - \frac{e_{acero}}{k_{acero}} - \frac{e_{acero}}{k_{acero}} - \frac{1}{h_2} \right)$$

(CENGEL., 2011 pág. 139)

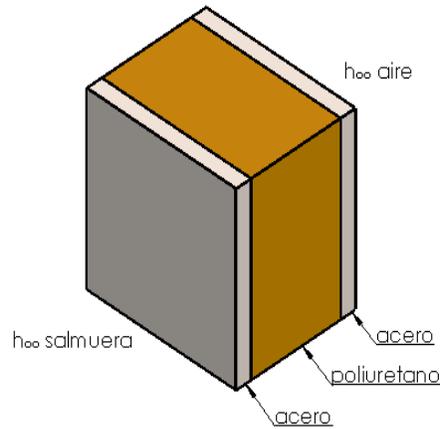


Figura 1. Espesor del aislante

Determinación de carga térmica

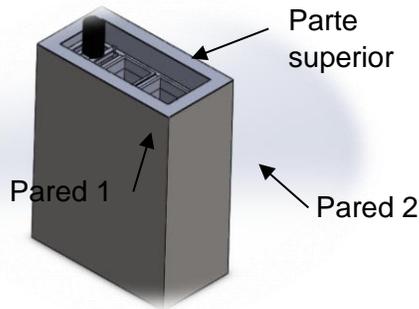


Figura 2. Tanque para salmuera.

$$q_{\text{perdidas}} = q_{s1} + q_{s2} + q_{\text{piso}} + 2 q_{\text{pared 1}} + 2q_{\text{pared 2}}$$

$$q_{\text{neto}} = q_{\text{agua-hielo}} + q_{\text{perdidas}}$$

(CENGEL., 2011 pág. 139)

$$q_{\text{agua-hielo}} = U_o * A * F * LMTD$$

(CENGEL., 2011 pág. 476)

Calor necesario para generar hielo

$$q_{\text{agua-hielo}} = 720,3773 \text{ W}$$

Flujo de calor al ambiente

$$q_{\text{pérdidas}} = 20,43051 \text{ W}$$

$$q_{\text{neto}} = 740,8107 \text{ W}$$

La capacidad calorífica (calor sensible del refrigerante)

$$Q_{\text{refrigerante}} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

(CENGEL., 2011 pág. 12)

$$Q_{\text{refrigerante}} = 2332,341 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 2332,341 \text{W}$$

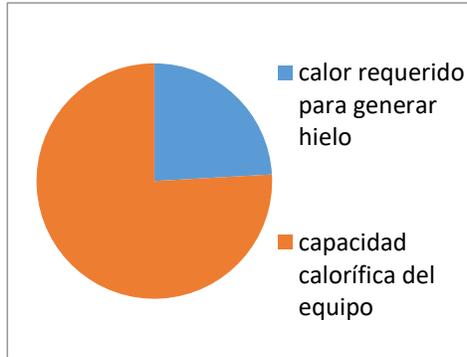


Figura 3. Calor requerido y capacidad calorífica del equipo.

Se realiza el diseño mecánico de los elementos que van a estar conformando la máquina, con ayuda del programa Solid Works.

TANQUE:

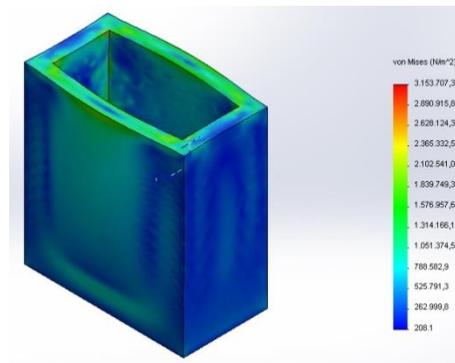


Figura 4. Análisis estático del tanque (Von Mises)

ESTRUCTURA:

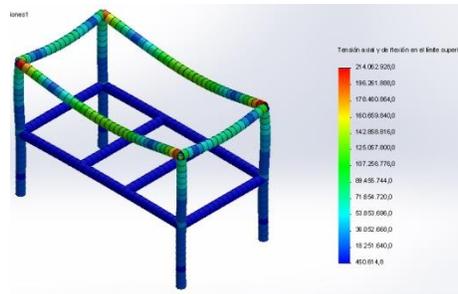


Figura 5. Análisis estático de la estructura

Elementos para control automático

Para el control de la máquina se cuenta con los siguientes elementos:

El MT-512Ri plus es un controlador digital de temperatura para congelados cuyo objetivo es automatizar los procesos de deshielo de acuerdo con las necesidades de cada instalación, proporcionando gran economía de energía. (FULLGAUGE, 2013)

El sensor de nivel es un interruptor de flotador es un dispositivo utilizado para detectar el nivel de líquido en un tanque. (WORDPRESS, 2103)

Un relé temporizador es un componente que está diseñado para temporizar eventos en un sistema de automatización industrial, cerrando o abriendo contactos antes, durante o después del período de tiempo ajustado. (ELECTROINDUSTRIA, 2014)

Adquisición de datos

Se consideraron utilizar sensores dallas ds18b20 para adquirir datos de temperatura estos sensores están dispuestos en un soporte de manera que se cubra toda la distancia de la pared del molde al centro del mismo, en la siguiente figura se muestran la distribución.

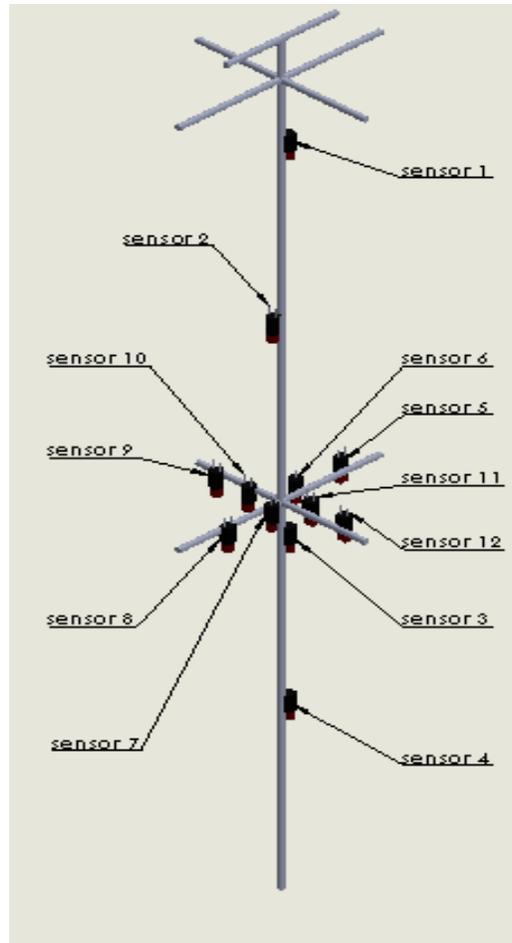


Figura 6. Disposición de sensores.

Resultados

Para la generación de hielo en bloques es necesario establecer las condiciones iniciales y analizar cada etapa del proceso que a continuación se menciona.

Para la presente investigación se considera una temperatura de la salmuera de (-8,5 a -7,5) °C

Formación de hielo

En la tabla muestra el espesor y la forma como se va generando de hielo cada hora.

Tiempo	Espesor	Figura
(h)	(mm)	
1	9	

2	15,6	
3	24	
4	31	
5	35	
6	41	
7	56-200	
8	57-120	
9	57-50	
10	57	

Tabla 1. Espesor de pared de hielo formado cada hora

Al graficar los datos se puede apreciar que el espesor de hielo formado presenta una tendencia lineal con respecto al tiempo del proceso, descrita por la ecuación:

$$e = 7,0814 * t$$

Dónde:

e: Espesor de hielo formado. (mm)

t: tiempo de inmersión en salmera a -8 °C. en horas

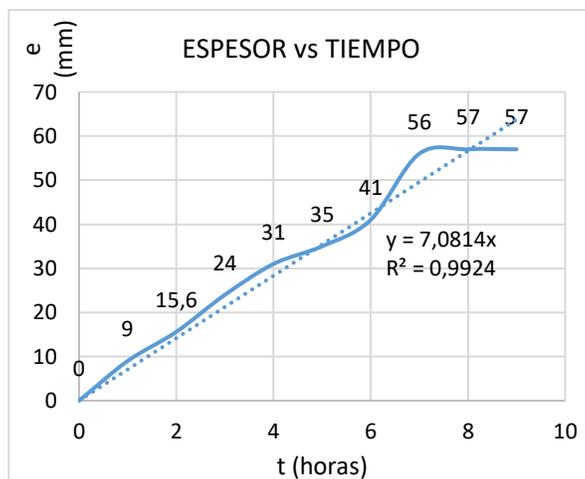


Figura 7. *Espesor vs tiempo.*

Velocidad de enfriamiento

En esta práctica se realizara la adquisición de datos de temperatura en el proceso de enfriamiento del agua. Para lo cual se tomaran lecturas de los sensores cada ½ minuto (30 segundos) hasta que la temperatura del agua sea los más cercano a cero, en este caso se resolvió bajar hasta 0,5°C.

Enfriamiento agua ablandada

Las condiciones de la práctica fueron:

- Hora de inicio de la prueba 10h00
- Temperatura ambiente 18,8°C
- Temperatura del agua 17,87°C
- Temperatura salmuera (-8,5 a -7,5) °C

Tabla 2. *Condiciones ambientales de la práctica*

Enfriamiento
Rápido

Enfriamiento
Lento

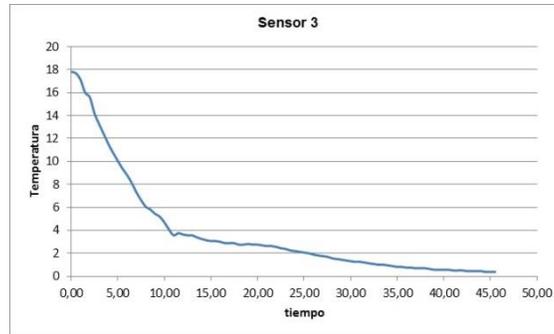


Figura 8. Región en la curva de enfriamiento

t (min)	T (°C)
4,50	10,75
8,50	5,81

Tabla 3. Datos de la zona de enfriamiento rápido

$$V_{\text{enf}} = 1,235 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

t(min)	T (°C)
23,00	2,38
32,00	1,12

Tabla 4. Datos de la zona de enfriamiento lento

$$V_{\text{enf}} = 0,14 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

Las condiciones de la práctica fueron:

Hora de inicio de la 10h00
prueba

Temperatura ambiente 19,3°C

Temperatura del agua 17,4°C

Temperatura salmuera (-8,5 a -7,5) °C

Tabla 5. Condiciones ambientales de la práctica

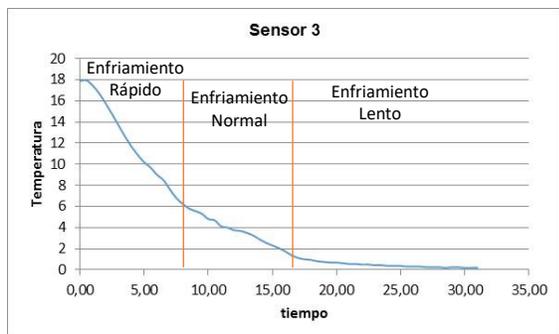


Figura 9. Región en la curva de enfriamiento

t(min)	T (°C)
3,00	13,69
7,50	6,81

Tabla 6. Datos de la zona de enfriamiento rápido

$$V_{enf} = 1,5289 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

t(min)	T (°C)
9,50	5,31
15,50	2,06

Tabla 7. Datos de la zona de enfriamiento normal

$$V_{enf} = 0,5417 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

t(min)	T (°C)
18,50	0,81
24,00	0,37

Tabla 8. Datos de la zona de enfriamiento lento

$$V_{enf} = 0,08 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

Velocidad de formación de hielo

En esta práctica se realizara la adquisición de datos de temperatura en el proceso de enfriamiento del agua. Para lo cual se tomara lecturas de los sensores cada 10 minutos hasta que el bloque de hielo este formado completamente.

Velocidad de formación de hielo con agua ablandada

Las condiciones de la práctica fueron:

Hora de inicio de la 10h25

prueba

Temperatura ambiente 19,0 °C

Temperatura del agua 17,0°C

Temperatura salmuera (-8,5 a -7,5)
°C

Tabla 9. Condiciones ambientales de la práctica

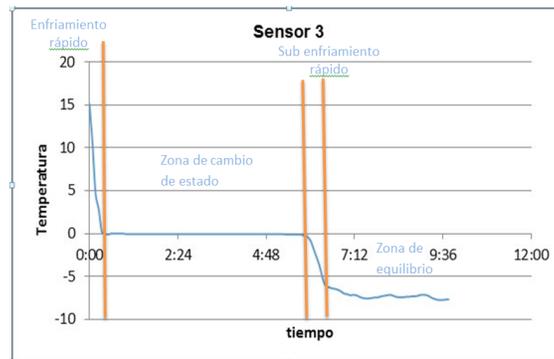


Figura 9. Región en la curva de formación de hielo.

t(horas)	T (°C)
0:05	10,44
0:15	2,88

Tabla 10. Datos de la zona de enfriamiento

$$V_{\text{form}} = 45,3509 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{h}$$

t(horas)	T (°C)
1:00	-0,06
4:45	-0,06

Tabla 11. Datos de la zona de cambio de estado

$$V = 0 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

t(horas)	T (°C)
6:05	-1,75

6:35 -6,38

Tabla 12. Datos de la zona de sub enfriamiento

$$V_{\text{form}} = 9,26 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$$

t(horas) T (°C)

7:10 -7,13

8:25 -7,44

Tabla 13. Datos de la zona de equilibrio

$$V_{\text{form}} = 0,248 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$$

Velocidad de formación de hielo con agua normal

Las condiciones de la práctica fueron:

Hora de inicio de la 10h00

prueba

Temperatura ambiente 19,3°C

Temperatura del agua 17,4°C

Temperatura salmuera (-8,5 a -7,5)
°C

Tabla 14. Condiciones de la práctica

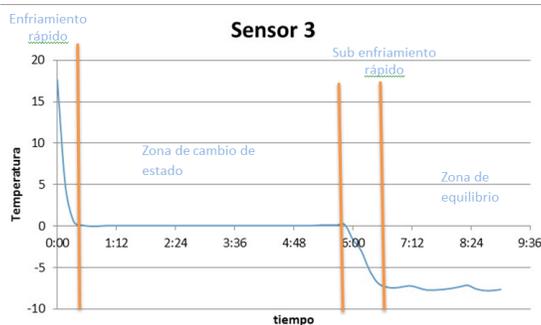


Figura 15. Curva de formación de hielo.

t(horas) T (°C)

0:00 17,62

0:30 0,12

Tabla 15. Datos de la zona de enfriamiento

$$V_{\text{form}} = 35,00 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$$

t(horas)	T (°C)
1:20	0,06
4:50	0,06

Tabla 16. Datos de la zona de cambio de estado

$$V = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$$

t(horas)	T (°C)
6:00	-1,6
6:30	-6,81

Tabla 17. Datos de la zona de sub enfriamiento

$$V_{\text{form}} = 10,42 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$$

t(horas)	T (°C)
7:20	-7,44
8:40	-7,75

Tabla 18. Datos de la zona de equilibrio

$$V_{\text{form}} = 0,2324 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$$

Generador de hielo

El equipo diseñado genera 10 kg de hielo en un tiempo de 10 horas, el diseño térmico se realizó mediante el cálculo de las cargas térmicas, con el fin de minimizar las mismas se ubicó un aislamiento térmico (espuma de poliuretano) de 2 pulg de espesor por todo el tanque de almacenamiento de la salmuera, el diseño estructural se lo realizó mediante un análisis CAE de los elementos y recomendaciones dadas por los fabricantes de estos equipos.

Control automático

El control automático se realiza mediante una tarjeta arduino uno, un sensor de nivel y un controlador de temperatura, en el controlador de temperatura se puede establecer diferentes temperaturas para la salmuera para este caso de investigación se determinó una temperatura entre $-8,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-7,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Adquisición de datos

Para el sistema de adquisición de datos se utilizó sensores Dallas DS18B20 los mismos que se ingresan dentro del agua a formar hielo dispuestos en una matriz, cada medida tomada con los sensores se corroboró con una termocupla tipo I para ver la precisión de las medidas las cuales resultaron aceptables.

Conclusiones

El principio de funcionamiento del generador de hielo en bloques se basa en la transferencia de calor por convección forzada y ha sido la base fundamental para el diseño del equipo. El generador de hielo en bloque tiene la capacidad de generar 10 kg, en dos bloques de 5 kg cada uno, en condiciones de trabajo similares a las máquinas de producción en masa. En las experiencias realizadas genera los 10 kg entre 9 y 10 horas \pm 30 minutos aproximadamente, lo cual está dentro de las recomendaciones de los fabricantes este tipo de equipos, para que el hielo tenga la resistencia suficiente para poder ser manipulado, almacenado y transportado. Se tomaron datos de temperatura en el enfriamiento del agua para el cálculo de la velocidad de enfriamiento, se elaboraron las curvas de Temperatura vs tiempo en las que se puede observar el comportamiento del agua ante el descenso de temperatura, se puede notar que hay zonas muy definidas en este proceso. Para el agua ablandada se determinó que la velocidad de enfriamiento desde la temperatura ambiente hasta aproximadamente cero ($0,5^{\circ}\text{C}$ sugerido) se demora alrededor de 45:50 minutos y se denota dos zonas claramente definidas, en cada una de ellas se calculó la velocidad de enfriamiento, zona 1, enfriamiento rápido: $V_{\text{enf}} = 1,235^{\circ}\text{C}/\text{min}$ y zona 2, enfriamiento lento: $V_{\text{enf}} = 0,14^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Para el agua normal se determinó que la velocidad de enfriamiento desde la temperatura ambiente hasta aproximadamente cero ($0,5^{\circ}\text{C}$ sugerido) se demora alrededor de 31 minutos y se denota tres zonas claramente definidas, en cada una de ellas se calculó la velocidad de enfriamiento, zona 1, enfriamiento rápido: $V_{\text{enf}} = 1,529^{\circ}\text{C}/\text{min}$; zona 2, enfriamiento lento: $V_{\text{form}} = 0,5417^{\circ}\text{C}/\text{min}$ y la zona 3, enfriamiento más lento: $V_{\text{form}} = 0,08^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Para el proceso de formación de hielo se obtuvieron datos de temperatura cada 5 minutos para el agua ablandada y cada 10 minutos para el agua normal. Para el agua ablandada el proceso duro 9h50 y para el agua normal duro 9 horas. En los dos procesos se pueden notar claramente cuatro zonas, las cuales se las denominó de la siguiente manera: fase de enfriamiento, fase de cambio de estado, fase de sub enfriamiento y fase de equilibrio. Las pruebas se las realizaron varias veces en las mismas condiciones de tipo de agua,

temperatura de salmuera pero no se conseguían los mismos resultados, tras su respectivo análisis se determinó que afectaban factores externos como son las condiciones ambientales externas, la temperatura del agua y la composición ya no todos los días se tienen exactamente estos tres parámetros. Además de que en algunos días el sol impacta directamente en el equipo. Un dato hallado en las prácticas fue que al enfriar o congelar el agua, llega un punto en que el agua dentro del molde pasa de estar transparente a oscuro, se solidifica en un instante, al vaciar el molde, sacar el líquido se puede observar un formación tipo escarcha en la media del molde, mientras en los contornos se encuentra hielo más compacto.

Referencias

1. CENGEL., YUNUS A. 2011. Transferencia de calor y masa. s.l. : McGRAW-HILL INTERAMERICA EDITORES SA DE CV, 2011.
2. ELECTROINDUSTRIA. 2014. ELECTROINDUSTRIA. [En línea] 2014. <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=883>.
3. FULLGAUGE. 2013. FULLGAUGE. [En línea] 2013. <http://www.fullgauge.com/es/PDF/TC-900RiPower.pdf>.50001:2011, N. I. (2011). Sistemas de gestión de la energía - Requisitos con orientación para su uso. Organización Internacional de Normalización, Norma ecuatoriana correspondiente.
4. ACOLTZI A., H., & PÉREZ R., H. (2011). ISO 50001, Gestión de Energía. Artículo Técnico, Boletín IIE(157-161).
5. AENOR Ecuador. (s.f.). Asociación Española de Normalización y Certificación. (AENOR) Recuperado el 13 de Febrero de 2015, de Gestión Energética: <http://www.aenorecuador.com/gestion-energetica.aspx>
6. CONELEC. (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Plan Maestro de Electrificación, Resumen Ejecutivo . Quito: Advantlogic Ecuador S.A.
7. Consorcio EDER y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales. (2010). Estudio de Ahorro y Eficiencia Energética en Comunidades de Regantes e Industria Agroalimentaria de la Ribera de Navarra. Navarra.

8. Global Footprint Network Organization. (12 de Abril de 2014). Global Footprint Network. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de <http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/>
9. Ing. Pablo Carvajal, E. A. (Año Base 2013). Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. Recuperado el 11 de Febrero de 2015, de Balance Energético Nacional 2014: <https://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/11/Balance-Energético-2014-web.pdf>
10. SAENZ, J. (2005). Seguridad Industrial. Madrid: Limusa.
11. Tsung-Yung Chiu, S.-L. L.-Y. (Diciembre 1, 2012). ESTABLISHING AN INTEGRATION-ENERGY-PRACTICE MODEL FOR IMPROVING ENERGY PERFORMANCE INDICATORS IN ISO 50001 ENERGY. *Journal Energies*, 5326,5327.
12. Zoran K, M. (2008). Applied Industrial Energy and Environmental Management. (J. W. IEEE, Ed.) Serbia .

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).