

**UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA, PARA IMPLEMENTAR UNA PISTA  
DE PATINAJE SOBRE HIELO.

Informe de Habilitación Profesional  
presentado en conformidad a los requisitos  
para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico.

Profesor Guía:  
Sr. VICENTE PITA VIVES

MARCOS FELIPE MORALES ALVIAL  
CONCEPCION – CHILE

2013

## AGRADECIMIENTOS.

Al término de esta gran etapa de mi vida, quería agradecer a todos quienes fueron un gran apoyo durante este periodo. En primer lugar me gustaría agradecer a mis amigos Juan Pablo Troncoso y Rodrigo Soto quienes fueron un apoyo enorme durante el inicio de esta etapa, ya que se tornó muy complicado el alejarse del hogar la familia y seres queridos, mis amigos tomaron ese lugar y se formaron en mi familia, compartiendo día a día los quehaceres de la casa apoyándonos en los momentos complicados y compartiendo tardes de estudios.

Durante el camino muchos amigos fueron abandonando sus carreras y cambiaron sus rumbos, fue en ese momento en el cual tomo relevancia un compañero y gran amigo de pensión, “Xamelo” quien fue un apoyo enorme en esos días complicados y de soledad.

Durante avanza la etapa, las fuerzas se debilitaban y en el horizonte se perdía el objetivo principal el cual consistía en obtener el título de la carrera, fue en ese momento en el cual apareció esa persona que con el tiempo se transformó en uno de los pilares más importantes de mi vida (Johanna Del Pino). Gracias amor por llegar en el momento que más te necesitaba por darme apoyo continuamente y levantarme en los momentos de flaqueza, estoy seguro que sin tu apoyo todo hubiese sido mucho más complicado.

En la parte educativa me gustaría agradecer a los profesores del departamento de Ingeniería Mecánica, quienes nos entregan las herramientas necesarias para ejercer la profesión y obtener un buen desempeño en cualquier puesto de trabajo.

## DEDICATORIA.

Si bien la aprobación de esta etapa depende solo de mi persona, esta no se podría haber llevado a cabo sin el apoyo de mis padres (Marco Morales Cofré y Maribel Alvial Torres) quienes juntos dieron todo para que mi hermana y yo pudiéramos ser profesionales como hoy en día ambos lo somos. Gracias padres por sacrificar todo (una vida tranquila, sin deudas y entregar una mejor educación a mi hermano menor), para que sus hijos pudieran alcanzar sus logros y obtener un título universitario. Les dedico este logro que es más de ustedes que mío. Sé cómo fue todo este proceso para ustedes, noches de insomnio trabajo duro durante todo este periodo, pero gracias a todo su esfuerzo este se ve reflejado en los logros de sus hijos. Cada día agradezco a Dios por darme a mis maravillosos padres y bendecirnos cada día, poniéndonos pruebas, las cuales como familia siempre unidos supimos salir adelante, una vez más gracias por enseñarme y por formar a la persona que hoy en día soy.

## SUMARIO.

El presente trabajo de título tiene como objetivo general el estudiar la factibilidad técnico económica, para implementar una pista de patinaje sobre hielo, debido a la ausencia de ésta para practicar actividades deportivas y de entretenimiento en la comuna de Concepción y sus alrededores y, de esta manera, entregar a la población una alternativa diferente para disfrutar en familia.

El tamaño de la pista se definió de 30 metros de ancho por 60 metros de longitud, que corresponde a las dimensiones de una pista de hockey. No obstante, el estudio técnico se realiza para un tercio de dicho tamaño, es decir, 30 metros de ancho por 20 metros de largo, con el propósito de:

- Evaluar una ampliación progresiva hasta lograr una pista de 30 x 60 m, que permita por ejemplo el desarrollo y exhibición de espectáculos deportivos, como partidos de hockey o patinaje artístico.
- Considerar operación parcial según menor demanda de usuarios.
- Facilitar procesos de mantención y/o reparación sin dejar fuera de servicio el sistema completo.

Para realizar el proyecto se realiza un estudio técnico donde se definen las diferentes variables con las cuales se seleccionan los equipos y componentes más adecuados para el circuito como son: el suelo frigorífico (manto), los ductos que lo conforman, la máquina enfriadora encargada de disminuir la temperatura del líquido en el circuito y el sistema de bombeo para la recirculación del fluido según el flujo requerido por el sistema y las pérdidas de carga que genera el circuito.

Para determinar el calor a retirar en el recinto se determinan los aportes de calor que generan las diferentes variables como: el ambiente externo, las personas que utilizan la pista, el sistema de iluminación, el concreto que forma la base de la superficie de hielo y el agua, en las condiciones más desfavorables para el funcionamiento del sistema.

Para complementar el análisis técnico, se evalúa el proyecto desde el punto de vista económico, analizando la inversión necesaria para llevar el proyecto a la realidad y los costos que se desembolsan para su funcionamiento. De esta manera se puede apreciar los indicadores económicos y las utilidades que puede generar el proyecto, si este se lleva a cabo, toda vez que el valor actual neto y una tasa interna de retorno resultaron mayores que cero

## CONTENIDOS

OBJETIVOS.....	1
INTRODUCCION. ....	2
Capítulo 1 MARCO TEORICO .....	4
1.1. Antecedentes del patinaje sobre hielo. ....	4
1.2. Tipos de pista de hielo. ....	5
1.3. Pistas de hielo en Chile.....	6
1.4. Construcción de una pista de hielo artificial. ....	7
1.5. Tipos de hielo. ....	8
1.6. Termodinámica.....	10
1.6.1. Sistemas de refrigeración.....	11
1.6.2. Ciclo de Carnot. ....	12
1.6.3. Máquina frigorífica.....	13
1.6.4. Componentes de un sistema de refrigeración. ....	13
1.7. Cargas térmicas.....	15
Capítulo 2 EVALUACIÓN TÉCNICA.....	17
2.1. Características principales de la pista de hielo .....	17
2.1.1. Descripción de la pista de hielo. ....	17
2.1.2. Tamaño de la pista de hielo. ....	19
2.1.3. Partes principales de la pista de hielo. ....	20
2.1.3.1. Suelo frigorífico. ....	21
2.1.3.2. Sistema de bombeo.....	21
2.1.3.3. Máquina enfriadora o chiller. ....	22
2.1.4. Características de la superficie de la pista de hielo.....	22
2.1.6. Otros requisitos. ....	24
2.2. Cálculo de cargas térmicas. ....	25
2.2.1. Calor aportado por el agua. ....	25
2.2.2. Flujo de calor aportado por el concreto. ....	30
2.2.3. Flujo de calor aportado por las personas.....	32
2.2.4. Flujo de calor aportado por el ambiente externo. ....	33

2.2.4.1.	Carga térmica por transmisión. ....	33
2.2.4.1.1.	Temperaturas de diseño. ....	33
2.2.4.1.2.	Coeficiente global de transferencia de Calor. ....	34
2.2.4.1.3.	Identificación del Recinto ....	35
2.2.4.1.4.	Descripción de la naturaleza de los ambientes adyacentes. ....	35
2.2.4.1.5.	Cálculos flujo de calor por el ambiente externo. ....	41
2.2.5.	Flujo de calor aportado por el sistema de iluminación. ....	49
2.3.	Diseño del suelo frigorífico. ....	50
2.3.1.	Tipos de conductos comercialmente disponibles. ....	50
2.3.1.1.	Conductos de PVC. ....	51
2.3.1.2.	Conductos de polietileno reticulado (PEX). ....	52
2.3.2.	Trazado preliminar. ....	54
2.3.3.	Calculo de diámetros. ....	54
2.3.3.1.	Diámetro del colector. ....	55
2.3.3.2.	Calculo de diámetro de los conductos del manto frigorífico. ....	57
2.3.3.3.	Temperatura de la mezcla agua-glicol en el manto frigorífico. ....	58
2.4.	Selección de máquinas, equipos y componentes ....	62
2.4.1.	Máquina enfriadora (chiller). ....	62
2.4.2.	Selección de la Bomba. ....	63
2.4.2.1.	Cálculo de las pérdidas de carga. ....	65
Capítulo 3	EVALUACION ECONOMICA. ....	74
3.1.	Inversión del proyecto. ....	74
3.1.1.	Inversión en equipos y materiales. ....	74
3.2.	Costos del proyecto. ....	75
3.2.1.	Gastos generales. ....	75
3.2.2.	Costos de insumos operacionales. ....	76
3.2.3.	Costos de personal. ....	76
3.3.	Ingresos. ....	77
3.4.	Flujo de caja. ....	78
CONCLUSIONES.	.....	83
REFERENCIAS.	.....	85

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: representación gráfica de los tipos de hielo según las variables de presión, temperatura y densidad. <i>Fuente (Téllez, 2010).</i> .....	9
Figura 1.2: ciclos de un sistema de refrigeración representados en un diagrama de mollier (P-v; T-S. <i>Fuente: (Cengel, 2006)</i> .....	14
Figura 1.3: etapas de una cámara frigorífica, según ciclo de Carnot. <i>Fuente: (Cengel, 2006).</i> .....	14
Figura 2.1: circuito simplificado de una pista de patinaje sobre hielo representando los componentes más importantes. <i>Fuente:wwip, 2008.</i> .....	18
Figura 2.2: pista de hielo con valla perimetral. <i>Fuente:Crystian Martínez, 2010.</i> .....	19
Figura 2.3: estructura de la superficie de una pista de hielo. <i>Fuente: Ingeniería Aysen Ltda., 2010.</i>	21
Figura 2.4: representación del muro de la pista de hielo.....	24
Figura 2.5: descripción pared norte, expresando sus dimensiones en milímetros. <i>Fuente: Elaboración propia.</i> .....	36
Figura 2.6: descripción pared sur, expresando sus dimensiones en milímetros. <i>Fuente: Elaboración propia.</i> .....	36
Figura 2.7: descripción de la pared oeste, expresando sus dimensiones en milímetros. <i>Fuente: Elaboración propia.</i> .....	37
Figura 2.8: descripción pared este, especificando sus medidas en milímetros. <i>Fuente: Elaboración propia.</i> .....	38

Figura 2.9: trazado preliminar del sistema para formar la pista de hielo. <i>Fuente: Elaboración propia.</i> .....	54
Figura 2.10: representación esquemática del circuito de la mezcla en los conductos que conforman la pista. <i>Fuente: Elaboración propia.</i> .....	64
Figura 2.11: Factor de fricción, Abaco de Moody. <i>Fuente: EPS de Ingeniería de Gijón, 2008.</i> .....	66
Figura 2.12: Test de divergencia con valores correspondientes a $\xi$ . <i>Fuente: Huerta, 2010.</i> .....	70
Figura 2.13: curva característica de la bomba seleccionada para el sistema. Fuente GRUNDFOS S.A.....	73

## INDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1: Características de la superficie de hielo y aire del recinto. Fuente: Consejo Superior de Deportes, 2010. ....	23
Tabla 2.2: temperatura media mensual del agua de la red (°C). Fuente: Sanchez, 2011.....	27
Tabla 2.3: flujo de calor sensible, latente y total aportado por el agua según el tiempo determinado para formar la capa de hielo de la pista. Fuente: Elaboración propia. ....	29
Tabla 2.4: Propiedades térmicas de materiales sólidos. Fuente: Sanchez, Transferencia de Calor, 2010.....	31
Tabla 2.5: temperatura exterior de diseño. Fuente: Weather Underground, 2013.....	34
Tabla 2.6: Extracto norma Chilena de Calefacción NCh853.EOF71, representativo de conductividad térmica de los tipos de hormigones. Fuente: Instituto Nacional de Normalización, 2013.....	39
Tabla 2.7: conductividad térmica de los aislantes entregados por la NCh853.EOF71. ....	40
Tabla 2.8: Resumen de flujo de calor total aportado por cada sistema a la pista.....	50
Tabla 2.9: tabla de diámetros nominales para conductos de PVC. Dimensiones según NCh399. Fuente: PERFECTO S.A, 2013.....	52
Tabla 2.10: características técnicas de los conductos PEX. Fuente: Datos obtenidos de catalogos de fabricantes. Obtenido de: <a href="http://www.polygonpipe.es/composite-pipe.html">http://www.polygonpipe.es/composite-pipe.html</a> .....	53
Tabla 2.11: Propiedades del agua glicolada al 35%, con temperatura de referencia de -12°C.....	59
Tabla 2.12 : datos de la conductividad térmica de los materiales. ....	61

Tabla 2.13: Datos generales de la máquina enfriadora (chiller) seleccionada. Fuente: Cotización Trane Chile S.A.....	62
Tabla 2.14: datos técnicos de la máquina enfriadora seleccionada. Fuente: Cotización Trane Chile S.A.....	63
Tabla 2.15: resumen de cálculos de pérdidas de carga en los colectores.....	67
Tabla 2.16: coeficiente de singularidad de codos con diferente relación de diámetros codos bruscos. Fuente: Blanco, Valverde, & Fernández, 1994. ....	69
Tabla 2.17: resumen de cálculos para perdidas de carga singulares en uniones te en colector de entrada al manto frigorífico. Fuente: Elaboración propia. ....	71
Tabla 3.1: representación de costos de materiales y equipos del proyecto. ....	75
Tabla 3.2: remuneraciones del personal requerido para el funcionamiento del proyecto evaluado en costos anuales. Fuente: elaboración propia. ....	77
Tabla 3.3: flujo de caja del proyecto representando los primeros cinco años del periodo de evaluación. Fuente: elaboración propia.....	79
Tabla 3.4: flujo de caja del proyecto representado desde el sexto a décimo año del periodo de evaluación. Fuente: elaboración propia.....	80
Tabla 3.5: flujo de caja del proyecto representado desde el onceavo al décimo quinto año del periodo de evaluación. Fuente: elaboración propia.....	81
Tabla 3.6: flujo de caja del proyecto representado desde el décimo sexto al vigésimo año del periodo de evaluación. Fuente: elaboración propia.....	82

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Estudiar la factibilidad técnico económica, para implementar una pista de patinaje sobre hielo.

### **Objetivos específicos**

- a) Estudiar la factibilidad de implementar una alternativa de entretenimiento y esparcimiento no disponible en la comuna de Concepción y sus alrededores.
- b) Definir las características principales, seleccionar los componentes necesarios y determinar criterios de operación de: la pista de hielo y su entorno.
- c) Hacer el estudio económico correspondiente.

## INTRODUCCION.

Actualmente la provincia de Concepción, consta con más de 944.262 personas, siendo la comuna de Concepción quien consta con la mayor cantidad de habitantes, con una cifra de 227.768 habitantes estimados, según el INE (Instituto Nacional de Estadística) en el año 2010, ((CUT), 2010), en esta comuna se centran, según datos de la misma corporación de estadística, diversos focos de pobreza y desempleo. Todo lo anterior sumado a la aparición de políticas públicas y proyectos que potencien la descentralización en nuestro país y el énfasis en potenciar la regionalización, es que hoy se busca desarrollar diversas actividades en la VIII región que potencien no sólo la explotación de las riquezas naturales, sino también el entretenimiento de los habitantes y generar nuevas fuentes de trabajo y desarrollo comunitario regional. En términos simples los avances técnicos e industriales que ocurren en la provincia de Concepción, con gran énfasis en la comuna del mismo nombre, han traído como consecuencia un acelerado aumento de la población, por ende una extensión de su tamaño y fenómenos nuevos como la migración campo-ciudad y el desarrollo de los sistemas de transporte para reducir la distancia residencia-trabajo. Estos factores han hecho que la ciudad se transforme en un espacio dinámico y en continuo crecimiento (Rojas, 2008, pp12).

Hoy la comuna de concepción, apuesta por la sostenibilidad que como concepto se deriva del *Desarrollo Sostenible* que desde su divulgación en los años ochenta, se ha instaurado como la opción a perseguir por las naciones, para garantizar buenos estándares de calidad ambiental, económica y social (Rojas, 2008 pp 6). Cuidando los aspectos sociales, potenciando el turismo y pensando en la salud mental de quienes habitan la comuna es que hoy en día destaca la presencia de discotecas, bares y espacios comunitarios, como también la construcción de malls y del casino, además de espacios al aire libre como lagunas, zoológico y una amplia zona costera, todo lo anterior se desarrolla con gran fuerza en verano, por la cantidad de turistas que visita la zona y la atracción que causa la biodiversidad de la zona.

Es difícil encontrar actividades recreativas de alto impacto en la estación de invierno, ya que la zona climática y geográfica de Concepción se caracteriza por ser bastante lluviosa y fría durante este periodo del año, es por ello que se aprecia la falta de un espacio de entretenimiento que sea utilizable en todo periodo, independiente del clima que afecte a la zona, donde puedan compartir familias completas y al mismo tiempo se potencie la actividad física promocionando un tipo de deporte distinto a los más populares de la zona.

Considerando todo lo mencionado anteriormente, se presenta el siguiente proyecto, que tiene como objetivo fundamental el estudio de factibilidad técnico económica, para implementar una pista de patinaje sobre hielo para la comuna de Concepción y sus alrededores, con el fin de entregar un espacio de entretenimiento a los habitantes de la comuna.

En este documento se exponen las características técnicas necesarias para que la pista de hielo funcione en óptimas condiciones térmicas y sea resistente a las condiciones ambientales a las cuales puede ser expuesta. Para lograr lo anterior se estudian las diferentes cargas térmicas que afectan al proyecto y que permiten dimensionar los equipos necesarios para que esta funcione de manera adecuada. Además se evalúa el ciclo termodinámico utilizado para producir el hielo que forma la pista. Se estudia el diseño y las pérdidas de carga en la red de tuberías por la cual circula el líquido refrigerante cede o entrega calor hacia la pista.

El proyecto, las evaluaciones de éste y estudios técnicos son acompañados de un estudio económico, dentro del cual se especifican costos de los equipos (valores entregados por los distribuidores de estos), la inversión necesaria para realizar el proyecto, el periodo de recuperación de la inversión y opciones de financiamiento para el proyecto.

Con todo lo anteriormente mencionado se busca presentar un proyecto viable y de impacto social, económico y sostenible en el tiempo para una comuna del estado Chileno que tiene el potencial y la población necesaria como para hacer de la región un sector dinámico y atractivo.

Es importante mencionar que dentro de la evaluación del presente proyecto, no se evalúa el acondicionamiento ambiental del recinto en el que se instalará la pista.

## Capítulo 1 MARCO TEORICO

### 1.1. Antecedentes del patinaje sobre hielo.

El patinaje sobre hielo comenzó como forma de transporte en invierno en los canales congelados a través del Norte de Europa (Precisión, 2010)

Para poder cruzar los lagos y arroyos congelados durante la época invernal, ataban huesos a sus pies y de ese modo se deslizaban a través de ellos. (Holanda Copyrigh certifica IAAF, 2007)

A medida que el tiempo fue pasando, el patinaje, aparte de ser un medio de transporte se transformó en un medio de diversión para todos, y en el invierno, las familias se reunían en los lagos congelados para patinar y entretenerse hasta que empezaron a dar vueltas y saltar viendo que muchas cosas se podían hacer con un par de patines. Con el tiempo este método de transporte se convirtió en una diversión popular para todas las clases sociales.

En Europa el patinaje artístico comenzó entre la aristocracia de Holanda en el siglo XVII. En una búsqueda de elegancia y belleza, los patinadores comenzaron a sincronizar sus pasos, saltos y otros movimientos garbosos con música, el resultado de todo ello fue una especie de ballet sobre hielo (Milton Lindao, 2006 pp 22).

Hoy en día las pistas de hielo se emplean para entretenimiento (patinaje sobre hielo), o para practicar algunos deportes, como son el patinaje de velocidad, el patinaje artístico sobre hielo, el “hockey sobre hielo”, o el “curling” (ARTV Copyrigh, 2013).

Considerando que en un principio el patinaje se practicaba al aire libre en el tiempo de invierno, cuando se congelaban las aguas de los lagos, las pistas de hielo interiores fueron creadas huyendo del frío.

Desde ese momento se comenzaron a alargar las temporadas durante todo el año, practicando hockey y patinaje artístico, consiguiendo de esta manera un mayor nivel técnico.

Durante el año 1876 se creó en Londres la primera pista interior de hielo, la cual fue creada con un proceso costoso utilizando una mezcla de glicerina y agua a través de tubos de cobre.

La primera pista interior de hielo en los Estados Unidos se abrió en 1879 en el Madison Square Garden en New York.

La primera competición olímpica de patinaje artístico fue celebrada en una pista de interior refrigerada como parte de los juegos del verano de 1908 en Londres.

En la actualidad la refrigeración eléctrica y las pistas de interior han hecho que el patinaje de hielo sea popular, existiendo patinadores profesionales que se dedican al espectáculo ((CUT), 2010).

## 1.2. Tipos de pista de hielo.

Existen cuatro tipos diferentes de pistas sobre hielo para practicar el patinaje las cuales son:

- Pista de hielo natural
- Pista de hielo semi-natural
- Pista de hielo artificial
- Pista de hielo sintética.

### *a) Pista de hielo natural.*

Este tipo de pista se congela de manera natural, es decir con la ayuda de las condiciones climáticas naturales del ambiente que lo rodea, el cual no necesita la ayuda de un suelo frigorífico y una máquina enfriadora. Además es la manera más económica para instalar una pista de patinaje sobre hielo, pero con el alto riesgo de depender completamente de la naturaleza y de la temperatura ambiental del sitio geográfico donde se desee montar la pista de hielo. (Milton Lindao, 2006)

### *b) Pista semi – natural*

Una pista de hielo semi-natural está pensada para esas zonas montañosas donde la temperatura media suele moverse entre -5 °C y +5 °C. Estas temperaturas no permiten que el agua se congele de manera natural pero si con la mínima ayuda de un suelo frigorífico y una máquina enfriadora. (Milton Lindao, 2006).

### *c) Pista de hielo artificial.*

Una pista de hielo artificial es una superficie limitada por una valla perimetral en la cual se genera y se mantiene una capa de hielo de manera artificial, o sea, con la ayuda de una máquina enfriadora.

Para montar una pista de hielo, el primer requisito es tener un suelo plano, firme y nivelado. El suelo se cubre con lo que se llama la manta frigorífica que está constituida por una red de tuberías conectadas entre sí, formando un circuito cerrado. Esta manta frigorífica está conectada a unos colectores principales que se encuentran a uno de los dos lados de la pista de hielo. A su vez, los colectores principales están conectados a una bomba de agua, un depósito (llamado *el pulmón* o *buffertank*) y finalmente a la máquina enfriadora. Todo ese conjunto forma un circuito cerrado que es la base de la futura pista de hielo (ARTV Copyrigh, 2005).

d) Pista de hielo sintética.

Una pista sintética es un producto de alta tecnología que simula las propiedades de hielo de verdad sin la necesidad de máquinas enfriadoras, consumo eléctrico, grupos electrógenos y mantenimiento de hielo, se instala rápidamente y está especialmente adecuada para esos lugares donde la instalación de una pista de hielo de verdad resulta imposible por razones técnicas o estéticas.

La pista sintética de patinaje, mantiene un factor constante de deslizamiento de aproximadamente 90% para la vida del producto. Comparado con una pista de hielo natural, semi-natural o artificial que comienzan con un deslizamiento del 100%, la misma que después de varias horas de uso reduce sus propiedades de deslizamiento aproximadamente a un 80%.

Una pista de hielo sintética adicionalmente puede permanecer en operación durante las 24 horas al día sin necesidad de ser cerrada para su mantenimiento, a diferencia de una pista de hielo real que debe ser regularmente cerrada después de unas largas horas de sesión para su respectivo tratamiento (Milton Lindao, 2006).

### 1.3. Pistas de hielo en Chile

En Chile no mucha gente conoce el patinaje artístico sobre hielo. Principalmente porque este tipo de deporte no es tradicional para el país. No hay nieve en gran parte del territorio chileno durante el invierno ni tampoco abundante hielo en las ciudades como para poder hacer pistas naturales como ocurre en otros países, por mencionar algunos Rusia o Canadá. Existen muy pocas pistas artificiales

en Chile. Actualmente existen pistas de hielo artificiales, ubicadas en Santiago, Rancagua, Puerto Montt y Punta Arenas.

Durante el 2011 se anunciaba nuevas pistas de hielo en las ciudades de Concepción y Antofagasta. La empresa de entretenimiento deportivo Cero grado anunció para ese año la construcción de tres nuevas pistas de patinaje, con una inversión que bordeaba los US\$3 millones (Powered by Aestudio, 2010).

Después de dicho anuncio la empresa de entretenimiento Cero grado construyó una pista de hielo en Antofagasta sin llevar a cabo la construcción en la ciudad de Concepción por lo que en dicha ciudad aún no se realiza el proyecto ya nombrado por la empresa.

#### 1.4. Construcción de una pista de hielo artificial.

Para comprender cómo se construye una pista de hielo, es necesario tener presentes algunos conceptos básicos que se deben tomar en cuenta, como son rangos de temperaturas, ubicación, tipo, tamaño, humedad, entre otros.

El hielo se define como la fase del agua en estado sólido. Sin embargo, algunas otras formas de sustancias como el dióxido de carbono, también se conocen como hielo. El hielo es incoloro, transparente y se cristaliza en el sistema hexagonal. Su punto de fusión es de 0°C, el agua pura también se solidifica a 0°C, pero el hielo sólo se formará a 0°C si el agua está turbia o contaminada con sólidos disueltos. (Viñamata, 2012).

Una propiedad importante del hielo es que se expande al solidificarse. Aquí identificamos otro factor adicional, debido a que al expandirse, generará esfuerzos en el piso o base que lo contiene. A 0°C el hielo tiene una densidad relativa de 0.9168 comparada con la densidad 0.9998 [gr/cm<sup>3</sup>] del agua líquida a esa misma temperatura. Como resultado, el hielo flota en el agua.

Debido a que el agua se expande al solidificarse, un aumento de la presión tiende a transformar el hielo en agua, y por lo tanto desciende el punto de fusión del hielo. Este efecto no es muy marcado para los aumentos ordinarios de presión. Por ejemplo, a 100 veces la presión atmosférica normal, el punto de fusión del hielo es sólo 1°C menor que a una presión normal. A presiones más altas, sin embargo, se forman varias modificaciones alotrópicas o alótropos del hielo (diferentes formas de un elemento existentes en el mismo estado físico) (Viñamata, 2012).

### 1.5. Tipos de hielo.

El hielo es el agua congelada. Es uno de los tres estados naturales del agua. La forma más fácil de reconocerlo es por su temperatura, y por su color blanco níveo, además es muy frío al tacto. El agua pura se congela a 0 °C cuando se halla sometido a una atmósfera de presión.

En el hielo, como en la mayoría de los sólidos, las moléculas se acomodan en una formación ordenada. Sin embargo, dependiendo de las condiciones de presión y temperatura, es posible que adopten diferentes formas. A partir de 1900, Gustavo Tamman y posteriormente en 1912 Percy Bridgman, hicieron experimentos sobre el hielo aplicándole diferentes presiones y temperaturas, y obtuvieron hielos diferentes con densidades mayores a la normal (posteriormente se encontraron muchos más tipos de hielo) [2]. Todas estas formas de hielo tienen estructuras más compactas o sea que se forman varias modificaciones alotrópicas o alótropos. Hasta el momento se conocen 16 tipos diferentes de hielos, aunque estructuralmente sólo son 11, ya que hay estructuras repetidas, pero estas se juntan por enlaces de hidrógeno (Téllez, 2010).

El hielo ordinario es el Hielo I. Esos alótropos son más densos que el agua y sus puntos de fusión aumentan al incrementar la presión. A unas 6,000 atmósferas, el punto de fusión vuelve a ser de 0°C, y a una presión de 20,000 atmósferas, el punto de fusión se eleva por encima de los 80°C (Viñamata, 2012).

Los tipos de hielo conocidos son los siguientes:

- Hielo Ih (Todo el hielo que se forma en la biosfera terrestre es hielo del tipo Ih, a excepción de una pequeña cantidad de hielo Ic. Los cristales de hielo tienen forma hexagonal).
- Hielo Ic (baja temperatura, cúbica centrada en las caras, densidad aproximadamente 900 kg/m<sup>3</sup>).
- Hielo II (baja temperatura, ortorrómbica centrado, densidad aproximadamente 1.200 kg/m<sup>3</sup>).
- Hielo III ó Iii (baja temperatura, tetragonal, densidad aproximadamente 1.100 kg/m<sup>3</sup>).
- Hielo V (alta presión, baja temperatura, monoclinica de base centrada, densidad aproximadamente 1.200 kg/m<sup>3</sup>).
- Hielo VI (alta presión, baja temperatura, tetragonal, densidad aproximadamente 1.300 kg/m<sup>3</sup>).

- Hielo VII (alta temperatura, alta presión, cúbico sencilla, densidad aproximadamente 1.700 kg/m<sup>3</sup>).
- Hielo VIII (alta presión, tetragonal centrada, densidad aproximadamente 1.600 kg/m<sup>3</sup>).
- Hielo IX (alta presión, tetragonal, densidad aproximadamente 1.200 kg/m<sup>3</sup>).
- Hielo XII (alta presión, baja temperatura, tetragonal, densidad aproximadamente 1.300 kg/m<sup>3</sup>).

Fuente:(Viñamata, 2012).

Estas propiedades de solidificación del agua explican la forma en que se congelan las masas de agua al aire libre. Cuando la temperatura de la superficie de una masa de agua al aire libre desciende hasta el punto de solidificación, el agua de la superficie se hace mucho más densa, y por lo tanto tenderá a hundirse, ésta se reemplaza por agua más caliente que está debajo (Viñamata, 2012).

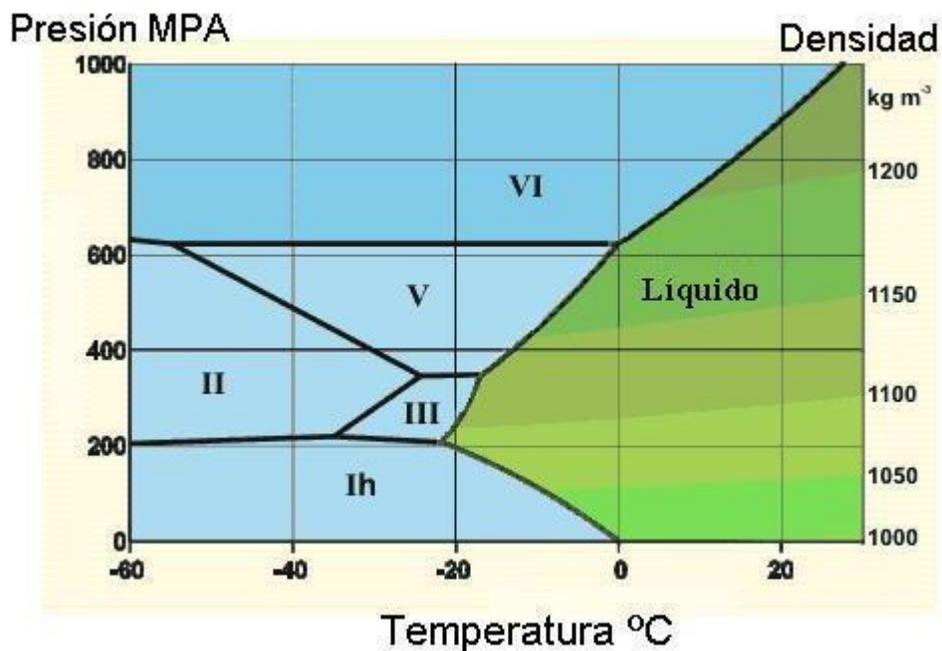


Figura 1.1: Representación gráfica de los tipos de hielo según las variables de presión, temperatura y densidad. Fuente (Téllez, 2010).

## 1.6. Termodinámica

La termodinámica estudia los efectos de los cambios de la temperatura, presión y volumen de los sistemas físicos a un nivel macroscópico. El estudio formal de esta rama de la ciencia comienza a partir de la potencia motriz del calor: la capacidad de los cuerpos calientes para producir trabajo. Hoy el alcance es mucho mayor, teniendo que ver en general con la energía y con las relaciones entre las propiedades de la materia (Michael J. Moran, 2005)

Históricamente, la termodinámica se desarrolló a partir de la necesidad de aumentar la eficiencia de las primeras máquinas de vapor (Gregori, 2009), actualmente la termodinámica es usada en la ingeniería desde el punto de vista de la mecánica de fluidos y la transferencia de masa y calor, para satisfacer las necesidades humanas, buscando hacer sistemas más eficientes, aumentando ganancias, disminuyendo costos y produciendo menor impacto ambiental (Michael J. Moran, 2005).

El punto de partida para la mayoría de las consideraciones termodinámicas son las leyes de esta ciencia, que postulan que la energía puede ser intercambiada entre sistemas físicos en forma de calor o trabajo. También se postula la existencia de una magnitud llamada entropía, definida usualmente como una medida del desorden molecular (García-Colín, 2012), que puede ser definida para cualquier sistema. En la termodinámica se estudian y clasifican las interacciones entre diversos sistemas, lo que lleva a definir conceptos como sistema termodinámico y su entorno. Un sistema termodinámico se caracteriza por sus propiedades, relacionadas entre sí mediante las ecuaciones de estado. Éstas se pueden combinar para expresar la energía interna y los potenciales termodinámicos, útiles para determinar las condiciones de equilibrio entre sistemas y los procesos espontáneos. Con estas herramientas, la termodinámica describe cómo los sistemas responden a los cambios en su entorno. También conocido como principio de la conservación de la energía, que establece que si se realiza trabajo sobre un sistema, la energía interna del sistema variará. La diferencia entre la energía interna del sistema y la cantidad de energía es denominada calor. Fue propuesto por Antoine Lavoisier. En otras palabras: La energía no se crea ni se destruye sólo se transforma. (Principio de conservación de la energía) (Gregori, 2009).

### 1.6.1. Sistemas de refrigeración

Existen dos tipos de sistemas de refrigeración, estos son por compresión de vapores y por absorción. El sistema de refrigeración más empleado es el de compresión. En las máquinas de este tipo constituye la parte central del sistema la bomba o compresor, que recibe vapor a baja presión y lo comprime. Con esta operación se elevan considerablemente la presión y la temperatura del vapor. Luego, este vapor comprimido y calentado fluye por el tubo de salida hasta el condensador térmico, donde el vapor cede su calor al agua o aire frío que rodea al condensador. En esta forma su temperatura desciende hasta el punto de condensación, y se convierte en líquido con la correspondiente liberación de calor que ocurre en estos casos (Ospino, 2003).

El agente frigorífico, en fase líquida, pasa del condensador hasta un receptáculo y de allí fluye por un conducto o válvula, disminuyendo la presión del líquido a medida que fluye dentro del vaporizador para retirar calor a este. Este vaporizador se haya en el espacio que desea refrigerar. El aire tibio de este recinto le transmite, por contacto, al vaporizador parte de su calor, y hace que el líquido se evapore. Como se ve este nuevo cambio de fase, de líquido a vapor, se efectúa aumentando la temperatura. A continuación, aspira el compresor, por el tubo de succión, el vapor caliente del evaporador, y, después de volverlo a comprimir, lo impulsa al condensador, como se explicó anteriormente. Se repite así el proceso en ciclos continuos. En las grandes instalaciones refrigeradoras se utiliza generalmente amoníaco como agente frigorífico, mientras que en los refrigeradores domésticos se emplea anhídrido sulfuroso, cloruro de metilo y freón. (Ospino, 2003)

Desde que se comenzó a refrigerar mediante sistemas mecánicos se ha aumentado constantemente el número de agentes frigoríficos, lo cual se debe a las investigaciones efectuadas por los químicos en su afán de hallar nuevas sustancias con características apropiadas para responder a las necesidades planteadas por los nuevos usos y tipos de instalaciones. Los refrigerantes sintéticos conocidos con el nombre de freones, constituyen un buen ejemplo del resultado alcanzado gracias a las investigaciones científicas (Ospino, 2003).

En el sistema de absorción se consigue el enfriamiento mediante la energía térmica de una llama de gas, de resistencias eléctricas, o de la condensación del vapor de agua a baja presión. La instalación tiene una serie de tubos de diversos diámetros, dispuestos en circuito cerrado, los cuales están llenos de amoníaco y agua. El amoníaco gaseoso que hay en la instalación se disuelve fácilmente en el

agua, formando una fuerte solución de amoníaco. Al calentarse ésta en la llama de gas, o por otro medio, se consigue que el amoníaco se desprenda del agua en forma de gas caliente, lo cual aumenta la presión cuando este gas se enfría en el condensador, bajo la acción de agua o aire frío, se produce la condensación y se convierte en amoníaco líquido. Fluye así por una válvula dentro del evaporador, donde enfría el aire circundante absorbiendo el calor de éste, lo cual produce nuevamente su evaporación. A continuación, entra el amoníaco, en estado gaseoso, en contacto con el agua, en la cual se disuelve. Esta fuerte solución de amoníaco retorna, impulsada por la bomba, al gasificador o hervidor, donde la llama de gas se calienta. Entonces vuelve a repetirse el ciclo (Ospino, 2003).

Tanto el sistema de enfriamiento por absorción como el de compresión, están basados en los cambios de fase del agente frigorífico. Ambos sistemas tienen condensador, vaporizador y el medio adecuado para crear la presión necesaria que motive la condensación, tal como un compresor o una fuente que produzca calor.

#### 1.6.2. Ciclo de Carnot.

El ciclo de Carnot es un ciclo termodinámico ideal reversible entre dos fuentes de temperatura, en el cual el rendimiento es máximo. Este ciclo fue estudiado por Sadi Carnot en su trabajo "Reflections sur la puissance motrice de feu et sur les machines propres developper cette puissance", de 1824. Una máquina térmica que realiza este ciclo se denomina máquina de Carnot. Trabaja absorbiendo una cantidad de calor  $Q_1$  de la fuente de alta temperatura y cede un calor  $Q_2$  a la de baja temperatura produciendo un trabajo sobre el exterior. Como todos los procesos que tienen lugar en el ciclo ideal son reversibles, el ciclo puede invertirse. Entonces la máquina absorbe calor de la fuente fría y cede calor a la fuente caliente, teniendo que suministrar trabajo a la máquina. Si el objetivo de esta máquina es extraer calor de la fuente fría se denomina máquina frigorífica, y si es aportar calor a la fuente caliente bomba de calor (Gregori, 2009).

### 1.6.3. Máquina frigorífica

La refrigeración consiste en hacer que en una cámara o recinto la temperatura descienda por debajo de la del medio ambiente y se mantenga luego a esta baja temperatura. Como ninguna cámara o recinto es perfectamente adiabático, sino que absorbe calor del exterior, para mantener dicho recinto a esa baja temperatura, es preciso extraer calor del recinto en forma continua o al menos intermitentemente. Esto implica normalmente el transporte de calor de un recinto a baja temperatura al medio ambiente, a mayor temperatura (Corresa, 2011).

-El transporte de calor se lleva a cabo por intermedio de un fluido transportador de calor que se denomina fluido refrigerante o simplemente refrigerante.

-Puesto que la tendencia natural es que el calor pase del foco caliente al foco frío; será preciso añadir trabajo al sistema desde fuera para invertir la tendencia y trasladar el calor desde el foco frío al caliente (Corresa, 2011).

### 1.6.4. Componentes de un sistema de refrigeración.

El principio de funcionamiento de los circuitos frigoríficos es el ciclo reversible de Carnot,

Una instalación frigorífica que funcione de acuerdo con este ciclo consta de los siguientes elementos básicos:

- Compresor: Eleva la presión y la temperatura del fluido evaporado
- Condensador: Foco caliente a  $T_c$ . Aporta  $Q_c$  al ambiente. El fluido pasa de estado de vapor a estado líquido
- Turbina o elemento de expansión: El líquido disminuye la presión y la temperatura
- Evaporador: Foco frío a  $T_f$ . Absorbe  $Q_f$  del recinto a refrigerar. El fluido de trabajo pasa de estado líquido a estado de vapor (en el ciclo de Carnot no totalmente, en los ciclos reales si pasa todo el fluido a estado de vapor) (Gregori, 2009).

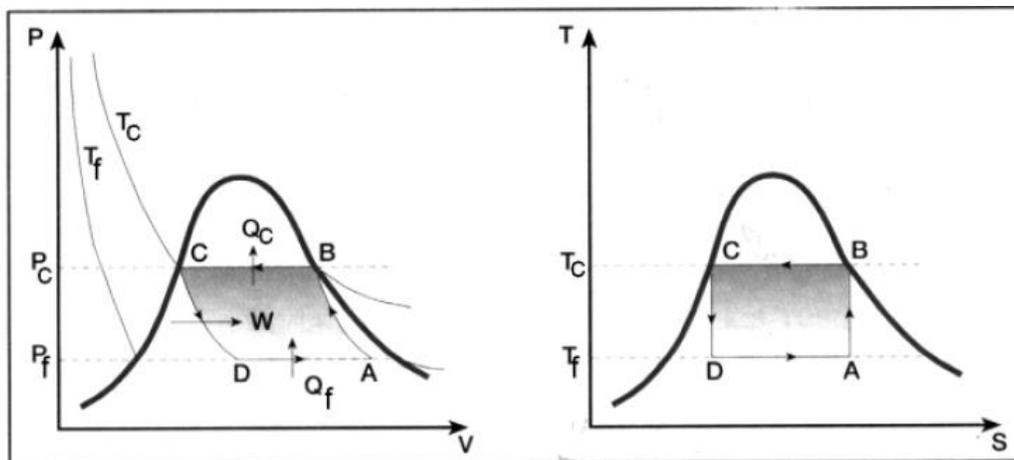


Figura 1.2: Ciclos de un sistema de refrigeración representados en un diagrama de mollier (P-v; T-S. Fuente: (Cengel, 2006)

El ciclo se compone de cuatro procesos termodinámicos los cuales se nombran a continuación observando la figura N° 3.

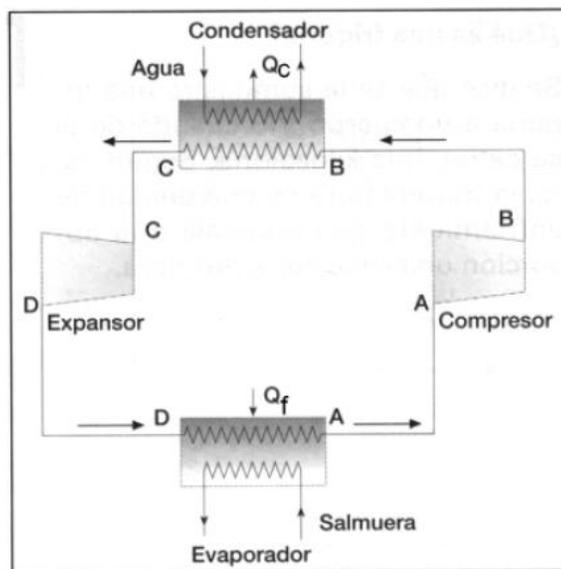


Figura 1.3: Etapas de una cámara frigorífica, según ciclo de Carnot. Fuente: (Cengel, 2006).

Proceso de A a B se produce una compresión adiabática de  $P_f$  a  $P_c$  (que además aumenta la temperatura de  $T_f$  a  $T_c$ ). El compresor absorbe trabajo del exterior  $W$  que es entregado al fluido en estado gaseoso.

Proceso de B a C se produce una condensación isotérmica El fluido en estado de vapor se licúa, cediendo una cantidad de calor  $Q_c$  al exterior. La temperatura del fluido permanece constante ( $T_c$ ) durante este proceso de condensación isotérmica (Cengel, 2006).

Proceso de C a D se produce expansión adiabática de  $P_c$  a  $P_f$  (que además disminuye la temperatura de  $T_c$  a  $T_f$ ). En el expansor el líquido enfriado se expande adiabáticamente, disminuyendo su presión y su temperatura, con lo cual se vaporiza parcialmente.

Proceso de D a A se produce expansión isotérmica El fluido llega al evaporador, donde se vaporiza casi en su totalidad a presión constante ( $P_f$ ), absorbiendo una cantidad de calor  $Q_f$  del recinto que se desea enfriar Esta cuarta etapa es una expansión isotérmica de fluido a la temperatura  $T_f$ .

Con el mismo razonamiento que en el ciclo del motor de Carnot (Cengel, 2006).

### 1.7. Cargas térmicas.

El concepto de carga térmica está asociado a sistemas de climatización (calefacción y refrigeración), así como a sistemas frigoríficos. Se trata de la cantidad de energía térmica, en la unidad de tiempo (potencia térmica) que un edificio, o cualquier otro recinto cerrado, intercambia con el exterior debido a las diferentes condiciones higrotérmicas del interior y del exterior, considerandos éstas, las exteriores, como las más desfavorables posible. El cálculo de estas cargas permite disponer los sistemas adecuados de calefacción o refrigeración para compensarlas.

Para la evaluación y selección de los equipos utilizados en los proyectos de refrigeración es necesario determinar la carga de calor a retirar, de manera de poder definir las características adecuadas al sistema deseado.

Para satisfacer las especificaciones técnicas se procede a evaluar la cantidad de calor que se desea retirar del recinto. Como se indica en el proyecto, la pista está pensada para el entretenimiento de los habitantes de Concepción y alrededores por lo cual se debe evaluar la carga térmica entregada por

las personas a la pista, el calor transferido por el ambiente externo, las cargas térmicas aportadas por el sistema de iluminación, el calor aportado por el agua y los materiales que se utilizan para la confección del suelo de la pista.

Las diferentes cargas térmicas de la pista se evalúan en el estudio técnico donde se especifican las características del calor aportado por dichas cargas, además de donde provienen y sus respectivos resultados.

## Capítulo 2 EVALUACIÓN TÉCNICA.

Las variables técnicas para la factibilidad de una pista de hielo, son de real importancia, ya que permiten definir un sistema que funcione en condiciones óptimas, haciendo referencia especialmente a aquellas que afectan las variaciones de flujo de calor.

Para poder realizar una evaluación térmica de calidad es necesario considerar varios factores que determinan la selección de una máquina enfriadora, en este apartado se consideraron tres puntos importantes, en primer lugar las partes que componen la pista, en esta sección se realiza una descripción general del suelo frigorífico, los enfriadores (Chiller) y el sistema de bombeo, como segundo punto se consideran las variables de tamaño, haciendo referencia a las dimensiones de la superficie y las características técnicas de estas, finalmente se consideran los aportes de calor desde diversos puntos, primero desde el ambiente externo, luego del concreto, del sistema de iluminación, de la cantidad máxima de personas que pueden permanecer en la pista simultáneamente y el aporte del agua, con todo lo anterior y las propuestas de equipos que puedan ofrecer las diferentes empresas distribuidoras especializadas en este rubro, se realiza la selección del equipo a utilizar.

### 2.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PISTA DE HIELO

#### 2.1.1. Descripción de la pista de hielo.

Esta se dimensiona como una pista de hockey sobre hielo (60 metros de largo por 30 metros de ancho). En esa superficie es posible realizar eventos deportivos y espectáculos, como partidos de hockey y patinaje artístico, permitiendo la recreación diaria de los habitantes de la comuna.

Las capas de hielo de la pista se generarán sobre una base de concreto, la cual debe tener una superficie lo más perfecta posible para que el hielo de la pista no posea desniveles que afecten su uso diario.

Entre el concreto se monta una red de tuberías conectadas entre sí, forman un circuito cerrado (intercambiador de calor) por el cual circula una mezcla líquida de agua y glicol, fluido encargado de enfriar el concreto y de esta manera formar la capa de hielo necesaria para la pista. Estos ductos

se conectan a la maquina enfriadora (chiller), encargada de retirar el flujo de calor que absorbe la mezcla refrigerante desde la pista.

La mezcla que circula por el intercambiador es impulsada por una bomba, la cual se encarga de hacer circular el fluido por el suelo frigorífico y la maquina enfriadora.

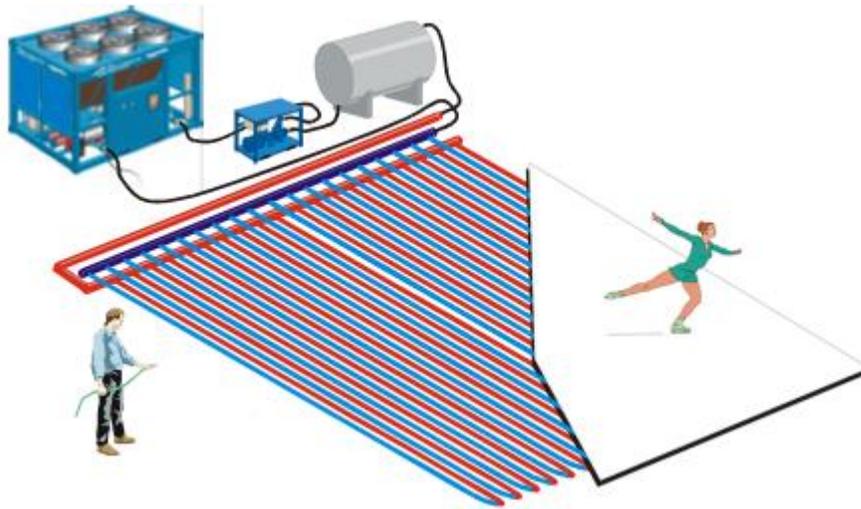


Figura 2.1: Circuito simplificado de una pista de patinaje sobre hielo representando los componentes más importantes. *Fuente:wwip, 2008.*

La pista debe estar rodeada en todo su perímetro por vallas ya sean de madera o plásticas con altura mínima de 1 m. Las vallas no deben presentar irregularidades o agujeros que pueden causar lesiones para los patinadores. Sobre esta valla perimetral se montan paneles transparentes, de esta manera es posible mantener las condiciones térmicas adecuadas para la pista y además entregar una mayor protección a los usuarios.

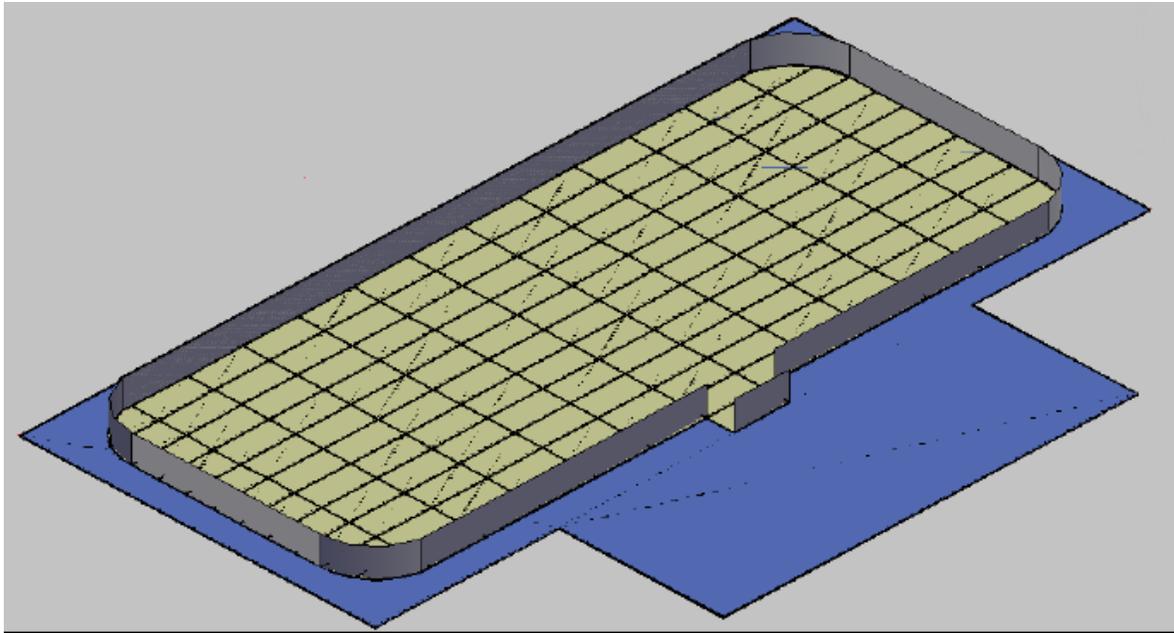


Figura 2.2: Pista de hielo con valla perimetral.

*Fuente: Crystian Martínez, 2010.*

### 2.1.2. Tamaño de la pista de hielo.

Para la evaluación de la pista de hielo se considera el tamaño de una pista de hockey sobre hielo, con el fin de que en un futuro, la pista pueda ser utilizada para practicar dicho deporte y otros tipos de actividades en la ciudad de Concepción incorporándolos a los que ya se practican en la zona.

Considerando la comodidad y seguridad de los patinadores que se encuentren simultáneamente en la pista, las empresas que se dedican a la construcción de pistas de hielo, recomiendan un aforo máximo de 1 patinador por cada  $4 \text{ m}^2$ . Por ejemplo, en una pista de hielo de  $15 \times 30$  metros ( $450 \text{ m}^2$ ) podrían patinar simultáneamente de manera cómoda, entre 110 – 120 patinadores (Bonjoch, 2009).

Además es importante señalar que las dimensiones de la pista y el espesor del hielo determinan la selección de la máquina enfriadora y equipos utilizados para formar las capas de hielo necesario

La F.E.D.H. (Federación Española Deportes de Hielo) señala en el reglamento oficial “Hockey sobre hielo”, que la pista utilizada para realizar este deporte debe tener una dimensión máxima de 61 m de largo por 30 m de ancho y una dimensión mínima de 56 m de largo por 26 m de ancho

(International Ice Hockey Federation, 2010). El diseño de la pista considera tres sectores de 20 x 30 m cada uno con el propósito de:

- Evaluar ampliación progresiva hasta lograr una pista de 30 x 60 m, que permita por ejemplo el desarrollo y exhibición de espectáculos deportivos, como partidos de hockey o patinaje artístico.
- Considerar operación parcial según menor demanda de usuarios.
- Facilitar procesos de mantención y/o reparación sin dejar fuera de servicio el sistema completo.

### 2.1.3. Partes principales de la pista de hielo.

Una pista de patinaje sobre hielo es una estructura conformada por tres partes principales, el suelo frigorífico, un sistema de bombeo y la máquina enfriadora o chiller (*su traducción al español es “enfriador”, por lo que se define un “chiller” como un equipo de refrigeración utilizado para enfriar*).

La pista se conforma de un circuito primario y otro secundario. El circuito primario corresponde a la máquina enfriadora la cual se basa en el principio de la máquina frigorífica, el cual consiste en entregar energía de un foco caliente a un foco frío o viceversa entregando trabajo al sistema para invertir el ciclo y de esta manera entregar energía desde un foco frío al foco caliente.

El circuito secundario (suelo frigorífico) consta de una serie de tuberías por las cuales circula una mezcla líquida de agua-glicol a temperatura negativa la cual congela el agua que se riega sobre las tuberías instaladas.

A continuación se especifican cada una de las partes principales de la instalación.

### 2.1.3.1. Suelo frigorífico.

Son tubos por los cuales circula una mezcla de agua-glicol a temperaturas bajo cero, es importante señalar que la mezcla circula en estado líquido.

Hay un colector de entrada y un colector de salida y cada tubo hace un circuito que sale del colector de entrada, recorre el largo de la pista, de ida y vuelta, y luego pasa al colector de salida.

Estos tubos pueden ser de metal (aluminio, hierro galvanizado), plástico (PVC con una fórmula que le permite trabajar a temperaturas negativas sin deteriorarse) o compuestos de goma.

Sin importar el material de tubos que se use la mezcla de agua-glicol, siempre hace el mismo recorrido desde la entrada a la salida.

Estos tubos son apoyados sobre una capa aislante para evitar ganancias térmicas desde el suelo y provocar que el fluido circulante absorba calor desde arriba, congelando el agua y formando la capa de hielo. Los espacios entre los tubos se rellenan con arena o con concreto para que el hielo se forme sobre esta capa.

La estructura del suelo frigorífico se puede apreciar en la figura N°2.3 representada a continuación.

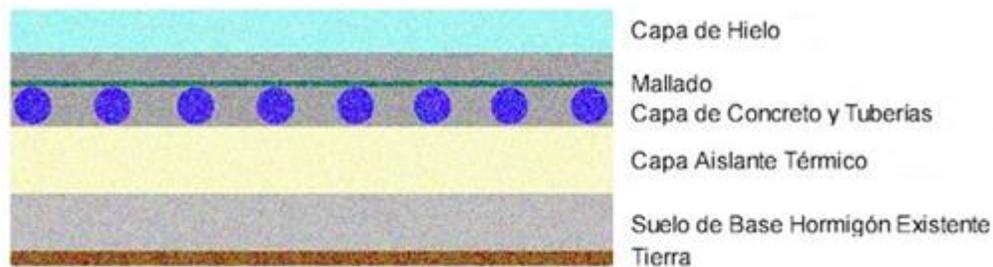


Figura 2.3: Estructura de la superficie de una pista de hielo. *Fuente: Ingeniería Aysen Ltda., 2010.*

### 2.1.3.2. Sistema de bombeo.

Para el sistema de bombeo se utilizan bombas hidráulicas de diferentes características, tanto en caudal volumétrico como en presión, dependiendo de las características de la máquina enfriadora, la geometría de las tuberías del suelo frigorífico y la altura a la que se encuentra la pista.

### 2.1.3.3. Máquina enfriadora o chiller.

La máquina enfriadora permite enfriar el líquido que circulará por la pista, impulsado por una bomba hidráulica. Estas máquinas tienen la capacidad de enfriar un líquido hasta temperaturas que pueden llegar en algunos casos a los  $-20^{\circ}\text{C}$ . Se utilizan diferentes tamaños, con diferentes potencias, que tienen relación con la superficie de la pista y con las condiciones ambientales de temperatura, ya que, no es lo mismo enfriar un líquido con una temperatura exterior de  $10^{\circ}\text{C}$  que con una temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$ .

Estos equipos tienen un consumo eléctrico bastante elevado y funcionan como un aire acondicionado o una heladera, que cuando llegan al punto establecido de temperatura deseada, simplemente se paran y arrancan de nuevo cuando detectan que el líquido que circula se ha “calentado”, con lo que mantienen una temperatura uniforme durante todo el tiempo de funcionamiento.

El líquido que circula por toda la pista, impulsado por la bomba y enfriado por la máquina enfriadora, es una solución de glicol (etilen o propilen glicol). Esto es usado como refrigerante y anticongelante en motores de coches y la idea es que no se congele cuando está trabajando a temperaturas negativas.

### 2.1.4. Características de la superficie de la pista de hielo.

Las condiciones de espesor y temperatura de la superficie de la pista, se especifican considerando la norma española NIDE (normativa sobre instalaciones deportivas), ya que esta normativa considera los estándares necesarios para cumplir los requisitos de las instalaciones deportivas y de esparcimiento.

A continuación se resume en la siguiente tabla las características necesarias del aire sobre la superficie deportiva y la superficie de hielo.

Tabla 2.1: Características de la superficie de hielo y aire del recinto. *Fuente: Consejo Superior de Deportes, 2010.*

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE DE HIELO Y DEL AIRE DEL RECINTO					
DEPORTE / MODALIDAD DEPORTIVA		Espesor del hielo (cm)	Temperatura del hielo (°C)	Temperatura del aire a 1,50 m (°C)	Humedad relativa máxima del aire a 1,50 m (%)
Hockey sobre hielo	Partidos	3-4	-5	+6	70
	Entrenamiento		-3	+6	
Curling	competición y entrenamiento	4-5	-4,5 / -5	+8	40
Patinaje artístico	Competición	3-4	-5 / -4	+12	70
	Entrenamiento		-3	+6	
Patinaje velocidad Pista corta	competición y entrenamiento	3-4	-5 / -3	+6	70
Patinaje velocidad Pista larga	competición y entrenamiento	3-4	-5 / -3	+6	70

De la tabla anterior se determinan las características de la superficie de hielo y del aire del recinto. De esta manera se tiene una superficie con temperatura superficial de -5 °C, una temperatura de 10°C en la sala donde se encuentra la pista de hielo y un espesor de hielo de 4 cm, además el aire debe tener una temperatura de 6 °C y una humedad relativa de 70%.

### 2.1.5. Características del recinto en que se instalará la pista.

El recinto de la instalación consta de un espacio físico donde se ubica la pista de hielo, una sala donde se ubicaran los equipos necesarios para el funcionamiento de la pista, un hall para el ingreso del público, una zona de boleterías donde se entregan los equipos necesarios para hacer uso de la pista, además se debe contemplar un espacio para los camarines, el cual puede ser ubicado a un costado de la pista como se hace comúnmente en los recintos donde se practica el deporte de hockey sobre hielo.

Los materiales de construcción del recinto de la pista se componen de paredes de hormigón, el cual se cubre con un aislante térmico adecuado, con el fin de reducir los flujos de calor aportados por el ambiente externo o los ambientes colindantes que se encuentren a temperaturas diferentes a la del recinto de la pista.

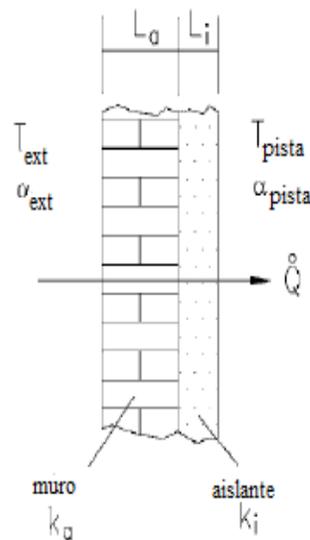


Figura 2.4: Representación del muro de la pista de hielo.

*Fuente:* Gatica, 2012.

### 2.1.6. Otros requisitos.

Para el funcionamiento adecuado de los equipos de la pista, es bueno tomar en cuenta una serie de requerimientos, los cuales ayudan a un óptimo funcionamiento del sistema en general. A continuación se presentan diferentes requerimientos para la pista de hielo.

- La máquina enfriadora debe estar cercana a la pista, con el fin de que el fluido que circula por el intercambiador no pierda energía en el trayecto de la máquina enfriadora al lugar donde se ubica la pista de hielo.
- El recinto debe tener una conexión eléctrica adecuada para suministrar la energía necesaria a los equipos e instalaciones de la pista.
- La red de agua debe estar accesible al sistema de la pista, de manera de poder suministrar las veces que sea necesario este recurso.

## 2.2. Cálculo de cargas térmicas.

### 2.2.1. Calor aportado por el agua.

Para formar la pista de hielo es necesario retirar el calor del agua y de esta forma obtener las capas de hielo necesarias para lograr el espesor de hielo requerido.

En primer lugar se debe retirar el calor sensible del agua, para ello se debe llevar la temperatura del agua de la red, del lugar donde se desea efectuar el proyecto, hasta la temperatura de 0 [°C]. Para evaluar esta carga térmica del agua se utiliza la ecuación 2-2.1.

$$Q_{\text{agua}} = Q_s + Q_L \quad \text{Ec. 2-2}$$

$$Q_s = m_{\text{agua}} * C_{\text{agua}} * \Delta T_{\text{agua}} \quad [\text{kJ}] \quad \text{Ec. 2-2.1}$$

Dónde:

$Q_s$ : Calor sensible del agua a refrigerar en [kJ].

$m_{\text{agua}}$ : Masa de agua a refrigerar en [kg].

$C_{\text{agua}}$ : Calor específico del agua en [kJ/(kg\*°C)].

$\Delta T_{\text{agua}}$ : Variación de temperatura del agua en [°C].

A continuación se procede a realizar el cálculo del calor sensible aportado por el agua a enfriar, por lo que los cálculos están determinados de la siguiente manera:

$$m_{\text{agua}} = \rho * V$$

Dónde:

$\rho$ : Densidad del agua 1.000 [kg/m<sup>3</sup>].

V: Volumen de agua a enfriar, en [m<sup>3</sup>].

Ahora el volumen de agua a enfriar queda determinado de la siguiente manera:

$$V = \text{largo} * \text{ancho} * \text{alto} = 20(\text{m}) * 30(\text{m}) * 0,04(\text{m})$$

$$V = 24 \text{ (m}^3\text{)}$$

Por lo tanto la masa del agua es:

$$m_{\text{agua}} = 1.000 \text{ [kg/m}^3\text{]} * 24 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = 24.000 \text{ [kg]}$$

Sabiendo que el calor específico del agua es de 4,18 [kJ/(kg\*°C)] y que la masa de agua se determinó anteriormente, solo queda por obtener la diferencia de temperatura del agua por lo que es necesario determinar la temperatura del agua de la red de la zona. Este valor se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 2.2: Temperatura media mensual del agua de la red (°C). Fuente: Sanchez, 2011.

CIUDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Arica	20,9	21,9	22,1	21,4	19,9	18,2	17,0	16,4	16,4	17,0	18,0	19,5
Iquique	20,3	21,3	21,5	20,6	19,1	17,5	16,4	15,9	15,9	16,4	17,4	18,8
Calama	20,2	20,2	19,8	18,8	17,1	15,4	14,1	14,3	15,1	16,9	18,4	19,8
Antofagasta	18,7	19,6	19,7	18,7	17,3	15,8	14,8	14,3	14,4	15,0	16,0	17,3
Isla de Pascua	22,5	23,7	24,1	23,6	22,3	21,0	19,7	19,1	18,9	19,2	19,9	21,0
Copiapó	20,8	21,7	21,6	20,2	18,0	15,8	14,5	14,3	15,1	16,4	17,8	19,4
Vallenar	19,9	20,6	20,4	19,4	17,6	15,7	14,7	14,1	14,9	16,2	17,8	19,1
La Serena	16,0	16,9	16,9	16,0	14,5	13,0	12,0	11,6	11,8	12,6	13,6	14,8
Santiago (Pudahuel)	19,4	20,3	19,8	17,7	14,7	11,6	9,5	9,2	10,0	12,0	14,6	17,2
Santiago (Q. Normal)	20,7	20,3	20,0	18,4	16,1	13,4	11,6	10,8	11,5	13,6	17,0	19,3
R. Crusoe	17,3	18,4	18,7	18,1	16,9	15,6	14,3	13,4	13,0	13,2	14,1	15,6
Santo Domingo	16,9											15,6
Curicó	21,3	22,7	21,7	18,5	14,5	11,2	9,1	8,7	9,7	12,2	15,3	18,5
Chillan	20,7	22,2	21,5	18,9	15,3	12,0	9,4	9,1	10,2	12,8	15,2	18,2
Concepción	15,7	16,4	16,0	14,7	13,0	11,4	10,2	9,8	10,1	11,1	12,5	14,2
Temuco	14,5	15,8	15,5	13,9	11,7	9,8	8,5	8,0	8,4	9,7	11,2	13,1
Valdivia	17,2	18,3	17,7	15,6	12,9	10,4	8,9	8,4	9,1	10,8	12,8	15,2
Puerto Montt	12,9	13,7	13,5	12,2	10,6	8,5	7,6	7,1	7,4	8,5	9,8	11,5
Coyhaique	13,6	15,0	14,5	12,5	9,2	6,0	3,7	3,5	5,0	7,6	9,7	11,9
Punta Arenas	9,6	10,2	9,8	8,6	6,5	4,3	2,5	2,0	2,9	4,5	6,4	8,2

De la tabla anterior se puede determinar la temperatura media del agua para la comuna de Concepción la cual corresponde a la temperatura media mayor durante el año la cual corresponde a 16,4 °C.

Ya determinados los valores de las variables se procede a calcular el calor sensible que se desea retirar al agua.

$$Q_s = 24.000 \text{ kg} * 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg} * ^\circ\text{C}) * (16,4 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 1.645.248 \text{ kJ}$$

Después de haber retirado el calor sensible del agua, logrando de esta manera llevar la temperatura del agua de la red hasta los  $0^\circ\text{C}$ , es necesario también retirar el calor latente del agua, el cual corresponde al calor necesario para realizar el cambio de fase líquida a fase sólida del agua, y de esta manera formar el hielo necesario para la pista, mediante la ecuación 2-2.2.

$$Q_L = m_{\text{agua}} * h_{fg} \quad [\text{kJ}] \quad \text{Ec. 2-2.2}$$

Dónde:

$Q_L$ : Calor latente del cambio de fase del agua en [kJ].

$m_{\text{agua}}$ : Masa de agua a refrigerar en [kg].

$h_{fg}$ : Variación de entalpia para el cambio de fase en [kJ/kg].

Para convertir 1kg de agua líquida a  $0^\circ\text{C}$  en 1 kg de hielo a  $0^\circ\text{C}$  y presión atmosférica normal se necesita quitar 334 kJ/kg de calor. Para determinar el calor latente necesario que se desea retirar para formar la pista de hielo se utiliza la masa de agua que fue determinada en el cálculo del calor sensible del agua. Por lo tanto el calor latente queda determinado de la siguiente manera:

$$Q_L = 24.000 \text{ kg} * 334 \text{ kJ}/\text{kg}$$

$$Q_L = 8.016.000 \text{ [kJ]}$$

Una vez determinado el calor sensible y latente a retirar del agua, se procede a calcular el calor que absorbe el sistema, al momento de llevar el agua de la red desde  $0^\circ\text{C}$  a  $-5^\circ\text{C}$ .

Las entalpias determinadas para realizar el cálculo se determinó a través del programa EES.

Datos:

$$T1 = 0$$

$$T2 = -5$$

$$H1 = -13469 \text{ [kJ/kg]}$$

$$H2 = -13.479 \text{ [kJ/kg]}$$

$$Q = m_{\text{agua}} * (H2-H1)$$

$$Q = -240.000 \text{ [kJ]}$$

Determinado el calor a retirar del agua, se crea la tabla 2.3, en la cual se aprecia el flujo de calor sensible, latente, calor a retirar para llevar el agua de 0 a -5°C y total del agua que se desea retirar según el tiempo considerado para formar la pista de hielo. Según empresas especialistas en construcción de pistas de hielo, es necesario como máximo tres días para formar el espesor necesario de hielo para la pista.

Tabla 2.3: Flujo de calor sensible, latente y total aportado por el agua según el tiempo determinado para formar la capa de hielo de la pista. *Fuente: Elaboración propia.*

tiempo [seg] (días)	masa de agua [kg]	Flujo de calor Sensible del agua [kW]	Flujo de calor Latente del agua [kW]	Flujo de calor aportado por el agua desde 0 a -5°C [kW]	Flujo de calor total aportado por el agua [kW]
3.600 (hora)	24.000	418	2.226,67	66,67	2.711,34
86.400 (1día)	24.000	17,42	92,78	2,78	112,98
172.800 (2 días)	24.000	8,71	46,39	1,39	56,49
259.200 (3días)	24.000	5,81	30,93	0,926	37,67

### 2.2.2. Flujo de calor aportado por el concreto.

Se debe evaluar la carga térmica necesaria para enfriar el concreto en el cual reposa la red de tuberías que lleva la mezcla de agua-glicol y de esta manera formar sobre ésta las capas necesarias de hielo. Para determinar el flujo de calor necesario para enfriar el concreto se considera la siguiente ecuación.

$$Q_c = m_c * C_{\text{concreto}} * \Delta T_c \quad [\text{kJ}] \quad \text{Ec. 2-2.3}$$

Dónde:

$m_c$ : Masa de concreto que se desea enfriar, en [kg].

$C_{\text{concreto}}$ : Calor específico del concreto, en [kJ/kg\*°C].

$\Delta T_c$ : Variación de temperatura del concreto, en [°C].

Para determinar la masa del concreto es necesario saber el volumen que se utilizara para la base de la pista. Por lo cual la ecuación para determinar la masa de concreto queda de la siguiente manera:

$$m_c = \rho_{\text{concreto}} * V_{\text{concreto}}$$

Si bien las dimensiones del concreto (largo y ancho) son las mismas que la pista es necesario saber el espesor del concreto el cual corresponde a 11 cm, ya que por el concreto también pasan las cañerías que llevan la mezcla de agua-glicol retirará calor de la pista de hielo. Así también se requiere la densidad del concreto que se obtiene de tablas de la norma chilena de construcción que corresponde a la tabla N°2 de la Nch853.EOF71.

Con los datos obtenidos se procede a calcular el volumen y masa de concreto a enfriar.

$$V_{\text{concreto}} = 20\text{m} * 30\text{ m} * 0,11\text{ m}$$

$$V_{\text{concreto}} = 66\text{ m}^3$$

$$m_{\text{concreto}} = 2400\text{ kg/ m}^3 * 66\text{ m}^3$$

$$m_{\text{concreto}} = 158.400\text{ kg}$$

Ahora para determinar la variación de temperatura del concreto se estima que este se encuentra a la misma temperatura del agua de la red (16°C), así de esta manera se necesita llevar dicha temperatura hasta 0°C.

El calor específico del concreto se extrae de la tabla 2.4, correspondiente a las propiedades térmicas de materiales sólidos, que se muestra a continuación.

Tabla 2.4: Propiedades térmicas de materiales sólidos.

*Fuente: Sanchez, Transferencia de Calor, 2010.*

SOLIDOS INORGANICOS	$\Theta$ °C	$\Delta$ kg/m <sup>3</sup>	c J/(kg*K)	$\lambda$ W/(m*K)	a 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
Ladrillo refractario	100	1.700 a 2.000	-	0.81 a 1,34	-
Hormigón	20	1.900 a 2.300	880	0,8 a 1,4	0,5 a 0,6945
Ladrillo seco	20	1.600 a 1.800	835	0,38 a 0,52	0,2778 a 0,3611
Mármol	20	2.500 a 2.700	810	2,8	1,3890
Hielo	0	920	1.930	2,2	1,2501
Vidrio corriente	20	2.480	700-930	1,16	0,59
Yeso	20	1.000	1.090	0,51	0,468

Con las propiedades térmicas del concreto su masa y la variación de temperatura se procede a determinar el flujo de calor aportado por el concreto.

$$Q_c = 158.400 \text{ kg} * 0,88 \text{ kJ}/(\text{kg}*\text{K}) * (289 - 273) \text{ K}$$

$$Q_c = 2.230.270 \text{ [kJ]}$$

Ahora si bien el suelo de la pista se forma en un periodo de tres días, se sabe que este es el tiempo determinado para extraer el calor del concreto. Su cálculo resulta:

$$Q_c = 2.230.270 \text{ [kJ]} / (3 \text{ dias} * 24 \text{ h/dia} * 60 \text{ min/h} * 60 \text{ s/min})$$

$$Q_c = 8.6 \text{ [kW]}$$

### 2.2.3. Flujo de calor aportado por las personas.

Las personas que utilizan la pista aportan una carga térmica importante para evaluar los equipos necesarios a utilizar en el uso diario de ésta, es por eso que imperativamente se debe considerar este tipo de carga. Dicha carga térmica depende de la actividad que estén ejerciendo, del tipo de ropa o vestimenta y sobretodo de la temperatura del recinto. Una forma de estimar esta carga es a través de la ecuación:

$$Q_p = (272 + 6 * T_{rec}) * t * n * 0,86 * 4,1868 / (3600 * 24) \text{ [kW]}. \quad \text{Ec. 2.2-4}$$

Dónde:

$T_{rec}$ : Corresponde a la temperatura del recinto de la pista de hielo, en [°C].

n: Número de personas presentes en la pista.

t: Tiempo de permanencia de las persona en el recinto, en [h/día].

La temperatura del recinto donde se encuentra la pista de hielo es de 10 °C, para poder mantener las condiciones térmicas de la pista y no provocar el deterioro de su superficie.

Como se mencionó en el punto 2.1.2, en la pista de hielo se considera el aforo máximo de un patinador por cada cuatro metros cuadrados. Tomando en cuenta esta información se puede considerar que, cada una de las tres etapas de la pista de hielo puede ser utilizada por 150 personas simultáneamente.

Cero grado, es una empresa reconocida a nivel nacional por sus pistas de hielo, dicha empresa en promedio mantiene abiertas sus instalaciones durante 11 horas diarias. Considerando este tiempo de apertura de la pista al público se tienen los datos necesarios para estimar el flujo de calor aportado por las personas.

$$Q_p = (272 + 6 * 10) * 11 * 150 * 0,86 * 4,1868 / (3600 * 24).$$

$$Q_p = 22,83 \text{ [kW]}$$

#### 2.2.4. Flujo de calor aportado por el ambiente externo.

El edificio donde se ubica la pista de hielo disipa un flujo de calor con el ambiente externo lo cual es motivo de evaluación para la carga térmica que este entrega a la pista de hielo. Este tipo de carga considera la transmisión de calor a través de los cerramientos y las infiltraciones de aire que tiene el edificio.

##### 2.2.4.1. Carga térmica por transmisión.

Se produce por el paso de flujo de calor a través de un cerramiento desde el local de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja. La expresión para evaluar la pérdida de flujo de calor, por algún cerramiento determinado es la siguiente:

$$Q_T = U * A * (T_i - T_e) \quad \text{Ec. 2.2-6}$$

Dónde:

$Q_T$ : Pérdidas por transmisión de flujo de calor a través de cada cerramiento. [W]

$U$ : Coeficiente global de transferencia de Calor [ $W/(m^2 * ^\circ C)$ ]

$A$ : Superficie del cerramiento. [ $m^2$ ]

$T_i$ : Temperatura interior de diseño. [ $^\circ C$ ]

$T_e$ : Temperatura de diseño al otro lado del cerramiento. [ $^\circ C$ ]

##### 2.2.4.1.1. Temperaturas de diseño.

La temperatura interior de diseño es la temperatura que se debe mantener para que el hielo formado no se derrita, considerando la mayor temperatura exterior (condición más desfavorable para la pista de hielo) que pueda tenerse bajo condiciones normales.

Tabla 2.5: Temperatura exterior de diseño

Fuente: *Weather Underground, 2013..*

LUGAR	$T_e$ (°C)
Concepción	29

## 2.2.4.1.2. Coeficiente global de transferencia de Calor.

El coeficiente global de transferencia de Calor (U), es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie de determinado elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por este elemento. Ocurre principalmente por 4 vías: piso, puertas y ventanas, muros y por techumbre.

Para un elemento formado por una serie de capas o placas planas y paralelas de materiales distintos en contacto entre sí, se define resistencia térmica total, como:

$$R_T = 1/U = R_{ci} + \sum e/\lambda + R_{ce}$$

Por lo tanto:

$$U = 1/(R_{ci} + \sum e/\lambda + R_{ce})$$

Dónde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor [W/m<sup>2</sup>\*K]

R<sub>ci</sub>, R<sub>ce</sub>: Resistencia térmica de superficie interior (i) y exterior (e) del elemento. [m<sup>2</sup>\*K/W]

e: Espesor de cada capa de material. [m]

λ: Conductividad térmica de cada capa de material. [W/m\*K]

e/λ: Resistencia térmica de una capa de material. [m<sup>2</sup>\*K/W]

#### 2.2.4.1.3. Identificación del Recinto

El recinto a evaluar se utiliza para realizar actividades correspondientes a la pista de hielo. Dicho espacio está ubicado en el primer nivel del edificio, sus paredes laterales se componen de hormigón y aislante térmico para reducir el flujo de calor aportado por el ambiente exterior, además posee una serie de ventanas para permitir el ingreso de iluminación natural desde el exterior, una desventaja de las ventanas es que permiten un mayor flujo de calor desde el exterior. La pared oeste tiene dos puertas de escape hacia el exterior las cuales en caso de emergencia se abren para la evacuación de las personas.

Para esta evaluación, como en las anteriores, se considera la condición más desfavorable, en cuanto a aportes de flujo de calor hacia el recinto, los que deben ser retirados por el sistema de enfriamiento.

En particular, no se considera el suelo debido a que se refiere a la pista. Con respecto al cielo este se compone de vigas de acero que soportan el techo del recinto

Las medidas generales de los muros, la composición de las paredes, la descripción de los recintos aledaños con sus diferentes propiedades y datos en general se ven en el siguiente punto.

#### 2.2.4.1.4. Descripción de la naturaleza de los ambientes adyacentes.

- La pared Norte se encuentra adyacente al ambiente exterior. El muro que separa estos recintos se tiene una dimensión de 5 metros de altura y 50 metros de ancho. Se compone de hormigón con un espesor de 12 centímetros y un aislante térmico de 6 centímetros, resultando un espesor total de 18 centímetros. La conductividad térmica del hormigón se obtiene de la NCh853.EOF71. Este muro tiene ventanas en su parte superior las cuales abarcan una dimensión de un metro de altura y 50 metros de ancho.

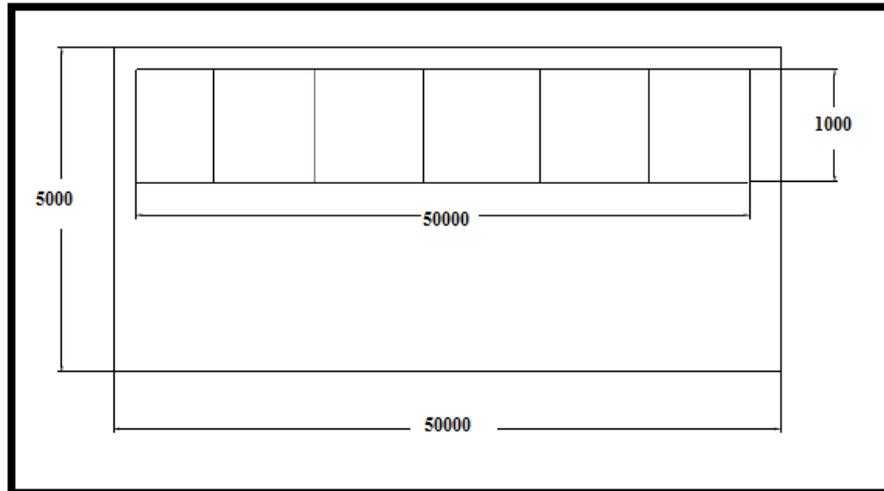


Figura 2.5: Descripción pared norte, expresando sus dimensiones en milímetros. Fuente: *Elaboración propia.*

- La pared sur conecta a la pista con la sala de máquinas, donde se ubican los equipos para el funcionamiento del sistema. Al igual que la pared norte esta tiene las mismas dimensiones de altura y ancho, además se compone de hormigón con un espesor de 10 centímetros y aislante térmico de 4 centímetros de espesor, además este muro tiene una puerta de acceso a la sala de máquinas, dicha puerta es de metal y sus dimensiones son de 2,2 metros de alto por 1 metro de ancho.

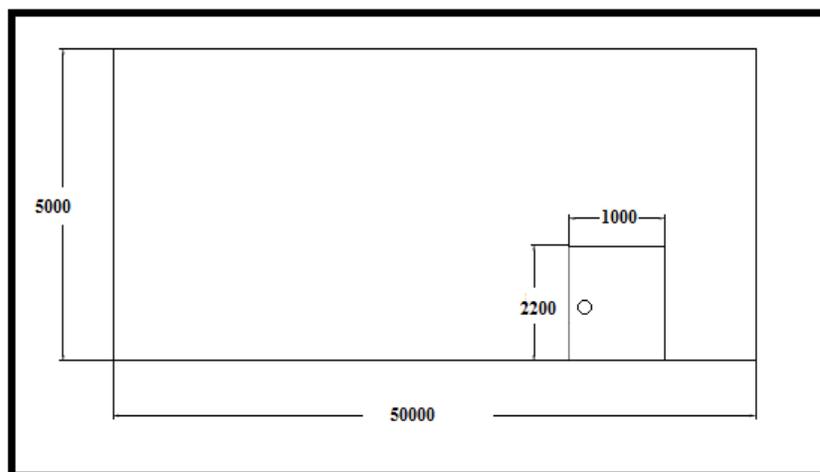


Figura 2.6: Descripción pared sur, expresando sus dimensiones en milímetros. Fuente: *Elaboración propia.*

- La pared oeste se expone directamente al ambiente exterior, sus dimensiones son 5 metros de altura y 75 metros de ancho. Los muros se componen de hormigón con un espesor de 12 centímetros y un aislante térmico de 6 centímetros con el fin de reducir el calor aportado por el ambiente exterior, además en este muro se ubican dos puertas de emergencia con dimensiones de 2,5 metros de alto y 2 metros de ancho cada una. Para aprovechar la iluminación natural este muro posee ventanas en el ancho total del muro con altura de 1 metro.

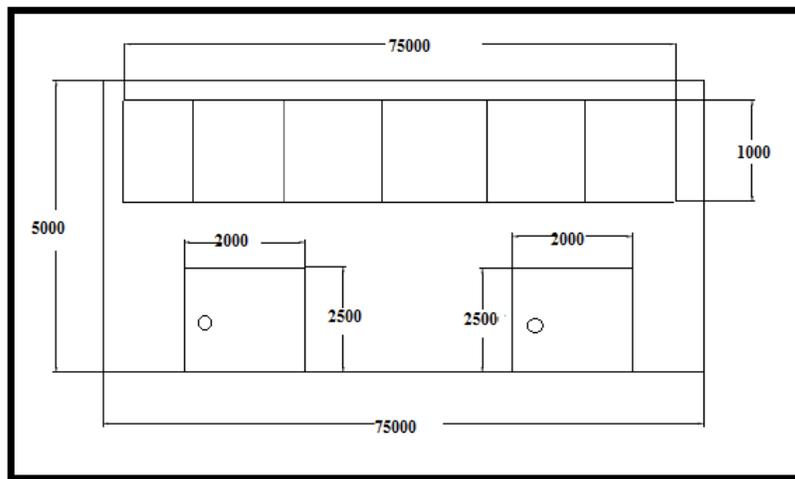


Figura 2.7: Descripción de la pared oeste, expresando sus dimensiones en milímetros. *Fuente: Elaboración propia.*

- La pared este colinda con el hall de entrada donde se ubica el acceso principal al recinto y la zona de camarines por donde se hace ingreso a la pista. Las dimensiones de altura y ancho del muro son idénticas a las del muro oeste. Además el muro se compone de hormigón con un espesor de 10 centímetros y aislante térmico de 4 centímetros de espesor. Esta pared tiene dos puertas, una de estas se ubica en la intersección con la pared norte y permite el acceso desde el hall a la zona de galerías, la cual tiene una dimensión de 4 metros de alto por 10 metros de ancho, la segunda puerta permite el acceso desde la zona de camarines hacia la pista de hielo, la cual tiene tres metros de alto por tres metros de ancho.

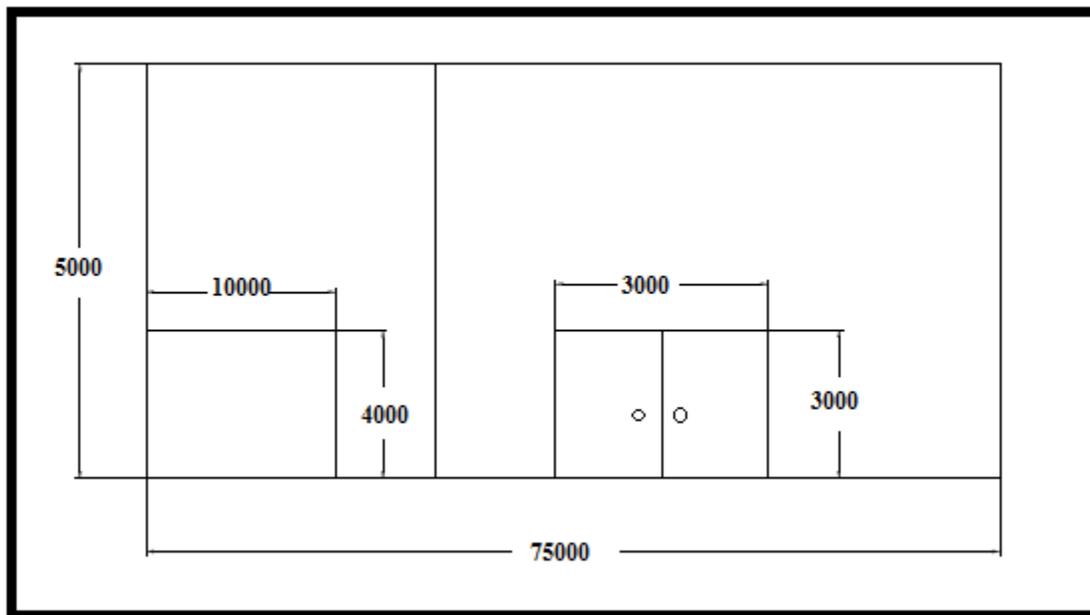


Figura 2.8: Descripción pared este, especificando sus medidas en milímetros. *Fuente: Elaboración propia.*

Los materiales de construcción del edificio de la pista corresponden a hormigón normal, con áridos silíceos, del cual se obtiene la conductividad térmica de la norma chilena NCh853.EOF71. En la tabla N° 2.6 se representa un extracto de dicha norma.

Tabla N° 2.6: Extracto norma Chilena de Calefacción NCh853.EOF71, representativo de conductividad térmica de los tipos de hormigones.

Fuente: Instituto Nacional de Normalización, 2013.

N°	Materiales (M)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ W/(m*K)
M.3	HORMIGONES		
M.3.1	Bloques huecos de hormigón (promedio)	1160 1150 500	0,94 0,76 0,66
M.3.2	Hormigón armado, dosificado normal	2400	1,75 (1,50)
M.3.3	Hormigón celular		
M.3.3.1	Hormigón con cenizas.....	1000	0,41
M.3.3.2	Hormigón con escorias de altos hornos	600 800 1000	0,17 0,22 0,30
M.3.3.3	Hormigón normal, con áridos silíceos.....	600 800 1000	0,34 0,49 0,67
M.3.4	Hormigón liviano (con piedra pómez, escoria dilatada, puzolana, poli estireno expandido con copos, vermiculita, etc.).....	600 800 1000 1200 1400	0,17 0,26 0,33 0,43 0,55

El aislante térmico utilizado para disminuir el calor aportado por el ambiente, corresponde a colchoneta de lana mineral, entre papel según densidades aparentes. Dicho aislante se utiliza con densidad entre 60 y 70 [kg/m<sup>3</sup>]. La tabla N° 2.7 muestra la conductividad de aislantes térmicos obtenidos de la NCh853.EOF71.

Tabla N° 2.7: Conductividad térmica de los aislantes entregados por la NCh853.EOF71.

*Fuente:* Instituto Nacional de Normalización, 2013.

N°	Materiales (M)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m*K)]
M.1	<b>AISLANTES TERMICOS.</b>		
M.1.1	<u>En forma de colchonetas y fieltros</u>		
M.1.1.1	Colchoneta aislante de algodón	14	0,035
M.1.1.2	Colchoneta de lana mineral, entre papel, según densidades aparentes...	$35 < \rho < 40$ $40 < \rho < 50$ $50 < \rho < 60$ $60 < \rho < 70$ $70 < \rho < 80$ $80 < \rho < 90$ $90 < \rho < 110$ $110 < \rho < 130$	0,047 0,044 0,041 0,040 0,038 0,038 0,037 0,037
M.1.1.3	Fibra de lino, entre papel.....	78	0,041

### 2.2.4.1.5. Cálculos flujo de calor por el ambiente externo.

Cálculos flujo de calor aportado por el ambiente externo, en [W].

$$Q_{\text{ext}} = Q_{\text{transferido}} + Q_{\text{aire}}$$

$$Q_{\text{transferido}} = Q_{\text{norte}} + Q_{\text{Sur}} + Q_{\text{este}} + Q_{\text{oeste}} + Q_{\text{Cielo}}$$

➤ Pared Norte.

$$Q_{\text{Norte}} = Q_{\text{muro}} + Q_{\text{ventana}}$$

$$Q_{\text{muro}} = A_{\text{muro}} * U_{\text{muro}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{ext.}})$$

$$Q_{\text{ventana}} = A_{\text{ventana}} * U_{\text{ventana}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{ext.}})$$

- Calculo de las Áreas:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{muro}} + A_{\text{ventana}}$$

$$A_{\text{muro}} = 5 * 50 = 250 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{ventana}} = 1 * 50 = 50 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{total}} = 300 \text{ [m}^2\text{]}$$

- Calculo de los coeficientes globales de transferencia de calor “U”:

$$U_{\text{muro}} = 1/R_{\text{total}} \Rightarrow R_{\text{total}} = R_{\text{ci}} + \sum e/\lambda + R_{\text{ce}}$$

$$R_{\text{ci}} = 0,12 \quad ; \text{ Esto según tabla 3 Nch853.EOF71}$$

$$\sum e/\lambda = R_{\text{concreto}} + R_{\text{aislante}}$$

$$R_{\text{concreto}} = e_{\text{concreto}}/\lambda_{\text{concreto}} = 0,12/0,34 = 0,353 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$R_{\text{aislante}} = e_{\text{aislante}}/\lambda_{\text{aislante}} = 0,06/0,04 = 1,5 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$\sum e/\lambda = 0,353 + 1,5 = 1,85 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$R_{ce} = 1/h_e;$$

Se considera una velocidad del viento exterior de 24 [km/h], lo cual corresponde a 6,66 [m/s]. Según la Norma chilena para determinar la resistencia térmica del exterior de la superficie de debe considerar la siguiente ecuación para una velocidad del viento mayor a 5 [m/s].

$$h_e = 7,15 * v^{0,78} = 7,15 * 6,66^{0,78} = 31,38 \text{ [W/(m}^2\text{* K)]}$$

$$R_{ce} = 0,032 \text{ [m}^2\text{* K/W]}$$

$$R_{total} = 0,12 + 1,85 + 0,032 = 2 \text{ [m}^2\text{* K/W]}$$

$$U_{muro} = 0,5 \text{ [W/ (m}^2\text{* K)]}$$

$$U_{ventana} = 6,8 \text{ [W/ (m}^2\text{*K)]}; \text{ según NCh853.EOF71}$$

- Cálculo de flujo de calor aportado.

$$T_{pista} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ext} = 29 \text{ }^\circ\text{C};$$

Temperatura máxima de la zona durante el periodo 2012, obtenida de la página [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com)

$$Q_{muro} = 250 * 0,5 * (10 - 29) = 2.375 \text{ [W]}$$

$$Q_{ventana} = 50 * 6,8 * (10 - 29) = 6.460 \text{ [W]}$$

$$Q_{norte} = \mathbf{8.835 \text{ [W]}}$$

➤ Pared sur.

$$Q_{Sur} = Q_{muro}$$

$$Q_{muro} = A_{muro} * U_{muro} * (T_{pista} - T_{sala \text{ de maq.}})$$

- Cálculo de las áreas:

$$A_{\text{muro}} = 5 * 50 = 250 \text{ [m}^2\text{]}$$

- Cálculo de los coeficientes globales de transferencia de calor “U”:

$$U_{\text{muro}} = 1/R_{\text{total}} \Rightarrow R_{\text{total}} = R_{\text{ci}} + \sum e/\lambda + R_{\text{ce}}$$

$$R_{\text{ci}} = R_{\text{ce}} = 0,12;$$

La resistencia térmica interna y externa de un muro se consideran iguales según la Nch853.EOF71, cuando estas se exponen a ambientes climatizados.

$$\sum e/\lambda = R_{\text{concreto}} + R_{\text{aislante}}$$

$$R_{\text{concreto}} = e_{\text{concreto}} / \lambda_{\text{concreto}} = 0,10 / 0,34 = 0,294 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$R_{\text{aislante}} = e_{\text{aislante}} / \lambda_{\text{aislante}} = 0,06 / 0,04 = 1,5 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$\sum e/\lambda = 0,294 + 1,5 = 1,794 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$R_{\text{total}} = 0,12 + 1,794 + 0,12 = 2,034 \text{ [m}^2\text{* K/W]}$$

$$U_{\text{muro}} = 0,49 \text{ [W/ (m}^2\text{* K)]}$$

- Cálculo de flujo de calor aportado.

$$T_{\text{pista}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{sala maq.}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{muro}} = 250 * 0,49 * (10 - 18) = 980 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{sur}} = 980 \text{ [W]}$$

➤ **Pared oeste**

$$Q_{\text{Oeste}} = Q_{\text{muro}} + Q_{\text{ventana}} + Q_{\text{puerta}}$$

$$Q_{\text{muro}} = A_{\text{muro}} * U_{\text{muro}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{ext.}})$$

$$Q_{\text{ventana}} = A_{\text{ventana}} * U_{\text{ventana}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{ext.}})$$

$$Q_{\text{puerta}} = A_{\text{puerta}} * U_{\text{puerta}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{ext.}})$$

• Cálculo de las áreas:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{muro}} + A_{\text{ventana}} + A_{\text{puerta}}$$

$$A_{\text{puerta}} = 3 * 4 = 12 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{ventana}} = 1 * 75 = 75 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{total}} = 5 * 80 = 400 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{muro}} = 400 - 75 - 12 = 313 \text{ [m}^2\text{]}$$

• Cálculo de los coeficientes globales de transferencia de calor “U”:

$$U_{\text{muro}} = 1 / R_{\text{total}} \Rightarrow R_{\text{total}} = R_{\text{ci}} + \sum e / \lambda + R_{\text{ce}}$$

$$R_{\text{ci}} = 0,12 \quad ; \text{ Esto según tabla 3 Nch853.EOF71}$$

$$\sum e / \lambda = R_{\text{concreto}} + R_{\text{aislante}}$$

$$R_{\text{concreto}} = e_{\text{concreto}} / \lambda_{\text{concreto}} = 0,12 / 0,34 = 0,353 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$R_{\text{aislante}} = e_{\text{aislante}} / \lambda_{\text{aislante}} = 0,06 / 0,04 = 1,5 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$\sum e / \lambda = 0,353 + 1,5 = 1,853 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$R_{\text{ce}} = 1 / h_e;$$

$$h_e = 7,15 * v^{0,78} = 7,15 * 6,66^{0,78} = 31,38 \text{ [W/(m}^2\text{* K)]}$$

$$R_{\text{ce}} = 0,032 \text{ [m}^2\text{* K/W]}$$

$$R_{\text{total}} = 0,12 + 1,853 + 0,032 = 2 \text{ [m}^2\text{* K/W]}$$

$$U_{\text{muro}} = 0,5 \text{ [W / (m}^2\text{* K)]}$$

$$U_{\text{ventana}} = 6,8 \text{ [W / (m}^2 \text{ * K)]}; \text{ según NCh853.EOF71}$$

$$U_{\text{puerta}} = 6,8 \text{ [W / (m}^2 \text{ * K)]}; \text{ según NCh853.EOF71}$$

- Calculo del flujo de calor aportado.

$$T_{\text{pista}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{muro}} = 313 * 0,5 * (10 - 29) = 2.974 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{ventana}} = 75 * 6,8 * (10 - 29) = 9.690 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{puerta}} = 12 * 6,8 * (10 - 29) = 1.550 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{oeste}} = \mathbf{14.214 \text{ [W]}}$$

- Pared este.

$$Q_{\text{Este}} = Q_{\text{muro hall}} + Q_{\text{muro camarines}} + Q_{\text{puerta hall}} + Q_{\text{puerta camarines}}$$

$$Q_{\text{muro hall}} = A_{\text{muro hall}} * U_{\text{muro hall}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{hall}})$$

$$Q_{\text{muro camarines}} = A_{\text{muro camarines}} * U_{\text{muro camarines}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{camarines}})$$

$$Q_{\text{puerta hall}} = A_{\text{puerta hall}} * U_{\text{puerta hall}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{hall}})$$

$$Q_{\text{puerta camarines}} = A_{\text{puerta camarines}} * U_{\text{puerta camarines}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{camarines}})$$

- Cálculo de las áreas:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{muro hall}} + A_{\text{muro camarines}} + A_{\text{puerta hall}} + A_{\text{puerta camarines}}$$

$$A_{\text{puerta hall}} = 4 * 10 = 40 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{puerta camarines}} = 3 * 3 = 9 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{muro camarines}} = 5 * 40 - A_{\text{puerta camarines}} = 191 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{muro hall}} = 80 * 5 - A_{\text{puerta hall}} - A_{\text{muro camarines}} - A_{\text{puerta camarines}} = 160 \text{ [m}^2\text{]}$$

- Cálculo de los coeficientes globales de transferencia de calor “U”:

El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, tanto para el muro que separa al hall y a los camarines, se considera igual para ambos casos, ya que los muros están compuestos con los mismos materiales e iguales dimensiones. Las puertas en ambos casos son del mismo material por lo cual el coeficiente de transferencia es el mismo.

$$U_{\text{muro hall}} = U_{\text{muro camarines}} = 1/R_{\text{total}} \Rightarrow R_{\text{total}} = R_{\text{ci}} + \sum e/\lambda + R_{\text{ce}}$$

$$R_{\text{ci}} = R_{\text{ce}} = 0,12$$

$$\sum e/\lambda = R_{\text{concreto}} + R_{\text{aislante}}$$

$$R_{\text{concreto}} = e_{\text{concreto}}/\lambda_{\text{concreto}} = 0,10 / 0,34 = 0,294 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$R_{\text{aislante}} = e_{\text{aislante}}/\lambda_{\text{aislante}} = 0,06 / 0,04 = 1,5 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$\sum e/\lambda = 0,294 + 1,5 = 1,794 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$$

$$R_{\text{total}} = 0,12 + 1,794 + 0,12 = 2,034 \text{ [m}^2\text{* K/W]}$$

$$U_{\text{muro}} = 0,49 \text{ [W/ (m}^2\text{* K)]}$$

$$U_{\text{puerta hall}} = U_{\text{puerta camarines}} = 6,8 \text{ [W/ (m}^2\text{*K)]}$$

- Cálculo del flujo de calor aportado.

$$T_{\text{pista}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{hall}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{camarines}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{muro hall}} = 160 * 0,49 * (10 - 18) = 627 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{muro camarines}} = 191 * 0,49 * (10 - 15) = 468 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{puerta hall}} = 40 * 6,8 * (10 - 18) = 2.176 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{puerta camarines}} = 9 * 6,8 * (10 - 15) = 306 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{este}} = 3.577 \text{ [W]}$$

➤ **Cielo:**

$$Q_{\text{cielo}} = A_{\text{cielo}} * U_{\text{cielo}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{ext}})$$

• **Cálculo de las áreas:**

$$A_{\text{cielo}} = 80 * 25,24 * 2 = 4.038 \text{ [m}^2\text{]}$$

• **Cálculo de los coeficientes globales de transferencia de calor “U”:**

$$U_{\text{cielo}} = 1/R_{\text{total}} \quad R_{\text{total}} = R_{\text{ci}} + \sum e/\lambda + R_{\text{ce}}$$

$R_{\text{ci}} = 0,10$ ; según NCh853.EOF71 para elementos inclinados

$$R_{\text{ce}} = 1/h_e;$$

$$h_e = 7,15 * v^{0,78} = 7,15 * 6,66^{0,78} = 31,38 \text{ [W/(m}^2 * \text{K)]}$$

$$R_{\text{ce}} = 0,032 \text{ [m}^2 * \text{K/W]}$$

$$\sum e/\lambda = R_{\text{zinc}} + R_{\text{aislante}}$$

$$R_{\text{aislante}} = e_{\text{aislante}}/\lambda_{\text{aislante}} = 0,10/0,04 = 2,5 \text{ [m}^2 * \text{K/W]}$$

$$R_{\text{zinc}} = e_{\text{zinc}}/\lambda_{\text{zinc}} = 0,018 / 110 = 0,0001636 \text{ [m}^2 * \text{K/W)];}$$

El espesor del zinc corresponde al espesor de onda de la plancha según su venta comercial. La conductividad térmica del metal se obtiene de la NCh853.EOF71.

$$R_{\text{total}} = 0,10 + 2,5 + 0,0001636 + 0,032 = 2,632 \text{ [m}^2 * \text{K/W]}$$

$$U_{\text{cielo}} = 0,38 \text{ [W/ (m}^2 * \text{K)]}$$

• **Cálculo de los flujos de calor:**

$$T_{\text{pista}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{cielo}} = 4.038 * 0,38 * (10 - 29)$$

$$Q_{\text{cielo}} = \mathbf{29.154 \text{ [W]}}$$

- Cálculo del flujo de calor transferido:

$$Q_{\text{transferido}} = 56.760 \text{ [W]}$$

- Aire infiltrado:

$$Q_{\text{aire}} = m_{\text{aire}} * C_{p\text{aire}} * (T_{\text{pista}} - T_{\text{ext}})$$

$$m_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} * V_{\text{infiltrado}}$$

$$\rho_{\text{aire}} = 1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{infiltrado}} = V_{\text{local}} * N^{\circ}\text{RH}$$

$N^{\circ}\text{RH}$ : corresponde al número de renovaciones del aire en el recinto. Para este caso se considera de 1,5 debido a que tiene dos paredes expuestas al ambiente exterior con ventanas normales.

$$V_{\text{pista}} = 60 * 30 * 1,5 = 2.700 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{infiltrado}} = 2.700 * 1,5 = 4.050 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$m_{\text{aire}} = 1,2 * 4.050 = 4.860 \text{ [kg/h]} = 1,35 \text{ [kg/s]}$$

$$C_{p\text{aire}} = 1.004 \text{ [J/(kg * K)]}$$

$$Q_{\text{aire}} = 1,35 * 1.004 * (10 - 29)$$

$$Q_{\text{aire}} = 25.753 \text{ [W]}$$

Determinados los flujos de calor aportados al recinto por el ambiente exterior a través de los muros, el cielo y el aire, se determina que el calor total aportado al recinto corresponde a 82.513 [W]. Como la pista se evalúa en tres etapas, el calor total aportado al recinto se distribuye equitativamente para cada etapa de la pista por lo cual el aporte del ambiente exterior para dicha evaluación es de 27.504 [W].

### 2.2.5. Flujo de calor aportado por el sistema de iluminación.

El sistema de iluminación del recinto entrega un flujo de calor a la pista, el cual depende de la potencia de las lámparas instaladas y de su tiempo de utilización, dicha potencia disipada se puede considerar aproximadamente de 10 [W/m<sup>2</sup>], por lo cual se considera la siguiente ecuación.

$$Q_i = 10 * A \text{ [W/m}^2\text{]} \quad \text{Ec. 2.2-5}$$

Dónde:

A: es el área total de iluminación, en m<sup>2</sup>.

Para determinar los aportes de calor debido al sistema de iluminación, se considera el área comprendida por la pista, explícitamente corresponde a un área de 20 metros de largo por 30 metros de ancho.

De esta manera el sistema de iluminación entrega el siguiente flujo de calor.

$$Q_i = 10 * (30 * 20)$$

$$Q_i = 6.000 \text{ [W]}$$

En resumen considerando el flujo de calor aportado por los distintos factores, se determina el flujo de calor total a retirar para formar la pista de hielo. En la siguiente tabla se pueden apreciar los aportes de flujo de calor aportado por el agua, concreto, personas, ambiente exterior y el sistema de iluminación.

Tabla N° 2.8: Resumen de flujo de calor total aportado por cada sistema a la pista. *Fuente: Elaboración propia.*

Variables	Calor aportado [kW]
Agua	37,67
Concreto	8,6
Personas	22,83
Ambiente exterior	27,5
Sistema de iluminación	6
<b>FLUJO DE CALOR TOTAL APORTADO EN CADA ETAPA</b>	<b>102,6</b>

Como se puede apreciar el flujo de calor total aportado por los sistemas es de 102,6 [kW], el cual corresponde al calor que debe retirar el sistema de refrigeración para formar la superficie de hielo deseada.

### 2.3. Diseño del suelo frigorífico.

El suelo frigorífico está compuesto por dos tipos de conductos, uno es de tipo colector, el cual se encarga de distribuir la mezcla de agua-glicol a la red o manto frigorífico que se ubica bajo la pista y el otro tipo son los conductos que forman el manto frigorífico de la pista. Por dicho colector circula un mayor flujo de agua-glicol y por el manto circula un flujo menor, es por esto que el diámetro de los dos tipos de conductos es diferente, además los conductos que forman el manto frigorífico deben absorber el calor del agua para formar el hielo de la pista, en cambio los colectores están encargados de transportar la mezcla de agua-glicol desde la maquina enfriadora hasta la pista de hielo y viceversa.

#### 2.3.1. Tipos de conductos comercialmente disponibles.

En el mercado se pueden encontrar conductos de distintos tipos de materiales, los cuales pueden ser de metal como cobre, aluminio, acero inoxidable, etc., y también se encuentran conductos de

material no metálicos en los cuales se pueden distinguir los PVC y PEX (polietileno reticulado), este último es utilizado en sistemas de calefacción de agua fría y caliente para calefacción doméstica y también abarca su uso sistemas de refrigeración.

Los conductos metálicos, gracias a sus características son comúnmente utilizados para conducir refrigerantes en sistemas de refrigeración.

Dentro del proyecto para formar el suelo frigorífico es necesario utilizar una gran cantidad de conductos. El elevado valor comercial de conductos metálicos demanda un gran costo para el proyecto, es por esto que se prefiere conductos de material no metálico. Los conductos no metálicos poseen características similares a la de los conductos metálicos por lo que la variante más representativa para la elección de dichos materiales es su costo.

Los colectores del suelo frigorífico son de PVC, se conducen el fluido hasta el manto frigorífico desde la maquina enfriadora. Los conductos que forman el manto frigorífico son de polietileno reticulado (PEX), y poseen las características necesarias para retirar el calor de la pista.

#### 2.3.1.1. Conductos de PVC.

Como se mencionó anteriormente los colectores están formados por conductos de PVC de presión, los cuales se encuentran dentro del comercio. Los PVC de presión comercialmente se encuentran en diámetros nominales que varían entre la ½” hasta 16” como se pueden apreciar en la tabla 2.9. Estos conductos se comercializan en tiras rectas de 6 metros, por lo que dentro de la pista se requieren 20 metros de colector por cada lado de la pista, esto se debe a que habrá un colector encargado de distribuir el fluido a la pista y otro encargado de captar el fluido que sale del manto frigorífico y conducirlo nuevamente a la maquina enfriadora. La distancia entre la pista y la maquina enfriadora será de 10 metros, por lo que para conducir la mezcla de agua-glicol a la pista el conducto se conecta con el manto frigorífico en la parte más cercana al chiller (10m), y el conducto encargado de conducir la mezcla desde el manto hasta la maquina enfriadora se conectara en la parte mas lejana con el fin de entregar una mayor distribución de presión en el manto frigorífico, por lo cual se necesita 20 metros de conducto. En total se necesitan 70 metros de conducto de PVC de presión para hacer circular la mezcla en el circuito.

Tabla N° 2.9: Tabla de diámetros nominales para conductos de PVC. Dimensiones según NCh399.

Fuente: PERFECTO S.A, 2013.

Diámetro nominal exterior		clase 4		clase 6		clase 10		clase 16	
		Espesor min. [mm]	Peso [kg/tira] 6m						
[mm]	[pulg]								
20	1/2							1,5	0,83
25	3/4					1,5	1,05	1,9	1,28
32	1					1,8	1,59	2,4	2,06
40	1 1/4			1,8	2,02	2,0	2,20	3,0	3,16
50	1 1/2			1,8	2,54	2,4	3,32	3,7	4,87
63	2			1,9	3,45	3,0	5,24	4,7	7,90
75	2 1/2	1,8	3,94	2,2	4,80	3,6	7,49	5,6	11,19
90	3	1,8	4,76	2,7	6,94	4,3	10,73	6,7	16,02
110	4	2,2	7,13	3,2	10,10	5,3	16,10	8,2	23,99
125	4 1/2	2,5	9,11	3,7	13,12	6,0	20,57	9,3	30,88
140	5	2,8	11,33	4,1	16,37	6,7	25,78	10,4	38,66
160	6	3,2	14,88	4,7	21,26	7,7	33,83	11,9	50,47
200	8	4,0	22,94	5,9	33,29	9,6	52,74	14,7	78,15
250	10	4,9	35,31	7,3	51,74	12,0	82,41	18,6	123,78
315	12	6,2	56,38	9,2	82,50	15,0	130,30	23,4	197,07
355	14	7,0	71,82	10,4	105,21	17,0	166,77	26,3	250,33
400	16	7,9	91,35	11,7	132,93	19,1	211,97	29,7	318,87

2.3.1.2. Conductos de polietileno reticulado (PEX).

Polietileno reticulado es un material de polietileno de alta densidad en el que las moléculas individuales están "reticuladas" durante la producción del material. Esto otorga cualidades físicas a la tubería que permiten cumplir con los requisitos de aplicaciones de temperatura-presión mucho más altas que material de polietileno estándar.

Los accesorios de los conductos PEX son generalmente de bronce, dado que la tubería se ha diseñado principalmente para su uso en sistemas de calefacción, una variedad de colectores especiales y válvulas de control para suelo radiante, sistemas de refrigeración, etc. (Rafferty, 2007).

El tubo en sí se encuentra disponible generalmente en diámetros nominales exteriores de 16, 20, 25 y 32 milímetros con espesores de 1.8, 1.9, 2.3, y 2.9 milímetros respectivamente, además los conductos PEX se encuentran en el mercado en rollos de 50 y 100 metros, en los cuales los conductos de menor diámetro (16 y 20 milímetros) se comercializan en rollos de 100 metros y los otros en rollos de 50 metros. A continuación se presenta una tabla con las características de los conductos PEX.

Tabla N° 2.10: Características técnicas de los conductos PEX. Fuente: Datos obtenidos de *catalogos de fabricantes*. Obtenido de: <http://www.polygonpipe.es/composite-pipe.html>

Diámetro exterior	mm	16*1,8	20*1,9	25*2,3	32*2,9
Espesor del tubo	mm	2	2	2.5	3
Temperatura de funcionamiento	°C	-45~95	-45~95	-45~95	-45~95
Temperatura máxima de funcionamiento	°C	95	95	95	95
Presión máxima de funcionamiento 95 °C	bar	10	10	10	10
Coefficiente de expansión lineal	mm/m.k	0.026	0.026	0.026	0.026
Conductividad térmica interna	w/mk	0.41	0.41	0.41	0.41
Rugosidad interna	mm	0.007	0.007	0.007	0.007

### 2.3.2. Trazado preliminar.

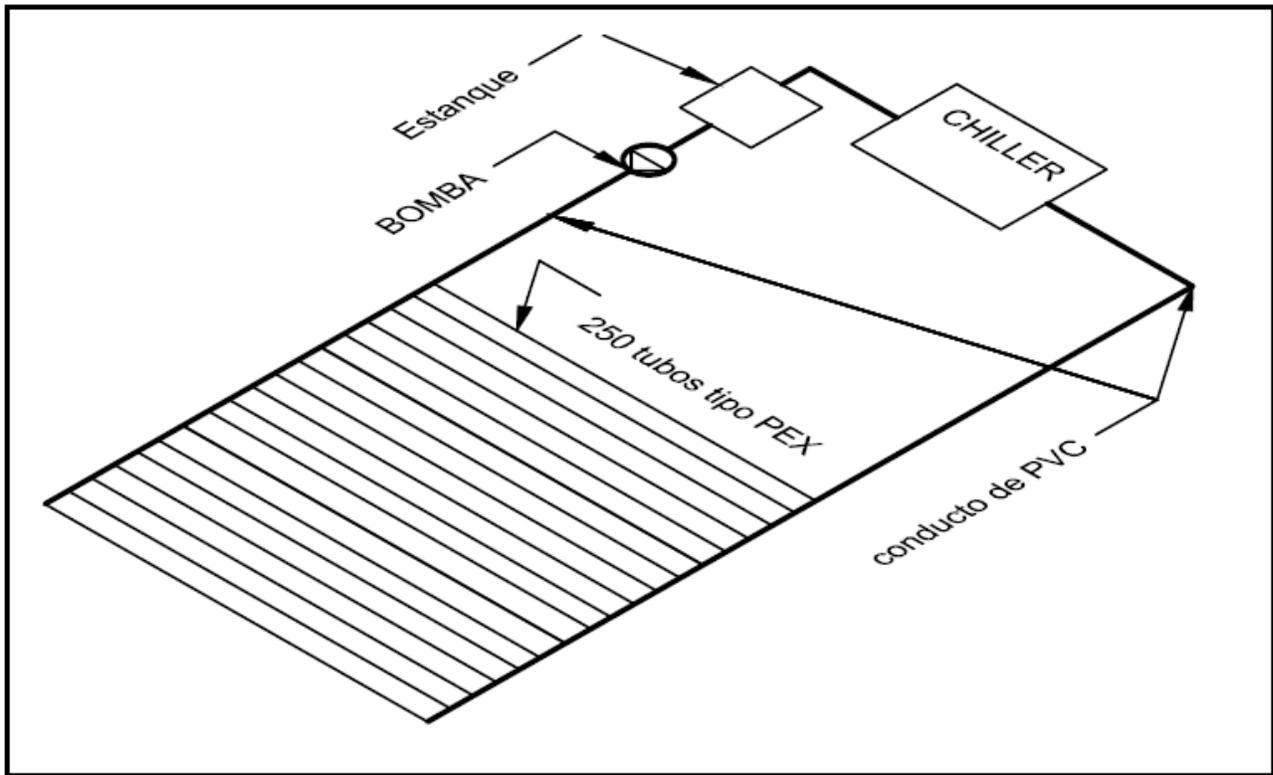


Figura 2.9: Trazado preliminar del sistema para formar la pista de hielo. *Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 2.9 se representa el circuito de la pista de hielo en el cual los 250 tubos tipo PEX se encargan de retirar el calor aportado por las personas, las luces y el ambiente externo. El chiller o maquina enfriadora se encarga de mantener la temperatura de la mezcla de agua-glicol que retorna del suelo de la pista a una temperatura mayor que la determinada por el circuito. Después de pasar por el chiller la mezcla pasa por una bomba la cual se encarga de hacer circular la mezcla por el circuito y de esta manera formar el hielo de la pista.

### 2.3.3. Calculo de diámetros

Para determinar el diámetro nominal de los conductos que forman el suelo frigorífico, se estima una caída de temperatura entre el ingreso del fluido a la pista hasta cuando este sale del conducto que

atraviesa el ancho de la pista correspondiente a una variación de 1 °C, por lo cual se permite determinar el flujo másico del fluido circulante mediante la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{retirado}} = m_{\text{fluido}} * C_{p\text{fluido}} * \Delta T$$

$$m_{\text{fluido}} = Q_{\text{retirado}} / (C_{p\text{fluido}} * \Delta T) = 101.670 / (3.504,6 * 1)$$

$$m_{\text{fluido}} = 29 \text{ [kg/seg]} = 104.400 \text{ [kg/h]}$$

$$V_{\text{fluido}} = m_{\text{fluido}} / \rho_{\text{fluido}} = 104.400 / 1066,8$$

$$V_{\text{fluido}} = 98 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Ahora considerando que la pista se compone por 250 conductos con un largo de 30 metros por cada tubo en un ancho de 20 metros, se determina el caudal de fluido que circula por cada uno, así el caudal por cada conducto es de 0,39 (m<sup>3</sup>/h).

#### 2.3.3.1. Diámetro del colector.

Con el flujo determinado que circula por la pista y una velocidad del fluido estimada en 2 m/s, se determina el diámetro nominal que tiene el colector para distribuir el fluido en la red de conductos de la pista.

$$Q_{\text{colector}} = A_{\text{colector}} * V_{\text{mezcla col.}}$$

Dónde:

$Q_{\text{colector}}$ : caudal de agua-glicolada, en [m<sup>3</sup>/s].

$A_{\text{colector}}$ : área del colector, en [m<sup>2</sup>].

$V_{\text{mezcla col.}}$ : velocidad del agua-glicolada, en [m/s].

$$A_{\text{colector}} = (\pi * D_{\text{colector}}^2) / 4; \quad D_{\text{colector}}: \text{diámetro del colector, en [m}^2\text{]}.$$

Por lo tanto la ecuación para el caudal en función del diámetro del colector queda como sigue.

$$Q_{\text{colector}} = V_{\text{mezcla col.}} * (\pi * D_{\text{colector}}^2) / 4$$

$$D_{\text{int colec}} = [(Q_{\text{colector}} * 4) / (V_{\text{mezcla col.}} * \pi)]^{0,5}$$

$$D_{\text{int colec}} = [(0,027 \text{ m}^3/\text{s} * 4) / (2 \text{ m/s} * \pi)]^{0,5}$$

$$D_{\text{int colec}} = 0,131 \text{ (m)} = 131 \text{ (mm)} = 5,16 \text{ (pulg)}$$

Los cálculos realizados entregan un diámetro interior del colector de 131 milímetro (5,16 pulgadas). Como se puede apreciar el diámetro determinado no se encuentra dentro de los diámetros nominales que se comercializan, por lo cual se selecciona el diámetro nominal más cercano al determinado y se recalcula la velocidad con la cual circulara el fluido en el conducto.

El diámetro nominal exterior más cercano según la tabla 2.9 corresponde a un conducto de diámetro exterior nominal de 140 milímetros con un espesor mínimo de pared de la clase 4 es de 2,8 milímetros, por lo que el diámetro interior del conducto seleccionado es de 134,4 milímetros. Ahora ya determinado el diámetro interior comercial se recalcula la velocidad del flujo en el interior del conducto.

$$Q_{\text{colector}} = V_{\text{mezcla col.}} * A_{\text{colector}}$$

$$Q_{\text{colector}} = V_{\text{mezcla col.}} * (\pi * D_{\text{colector}}^2) / 4$$

$$V_{\text{mezcla col.}} = 4 * Q / (\pi * D_{\text{colector}}^2)$$

$$V_{\text{mezcla col.}} = 4 * 0,027 \text{ m}^3/\text{s} / (\pi * 0,1344^2 \text{ m}^2)$$

$$V_{\text{mezcla col.}} = 1,9 \text{ [m/s]}$$

Finalmente los colectores se componen de conductos de PVC de presión con diámetro nominal exterior de 140 milímetros (5 pulgadas) y espesor de pared de 2,8 milímetros, además la mezcla de agua-glicol que circula por los conductos de PVC tiene una velocidad de 1,9 m/s.

### 2.3.3.2. Cálculo de diámetro de los conductos del manto frigorífico.

El manto frigorífico se compone de 250 conductos tipo PEX, que se instalan en paralelo a lo largo de la pista (20 metros), con el fin de retirar el calor necesario para formar el espesor de hielo requerido. Estos conductos tendrán un largo de 30 metros y están separados 8 centímetros entre sí para formar el hielo uniformemente. Por cada conducto circula un flujo de 0,39 (m<sup>3</sup>/h) de la mezcla de agua-glicol, para lo cual se determina el diámetro óptimo para dicho flujo.

Para determinar el diámetro de los conductos del manto frigorífico se estima una velocidad de 0,98 (m/s).

$$Q_{\text{manto}} = A_{\text{manto}} * V_{\text{mezcla manto}}$$

Dónde:

$Q_{\text{manto}}$ : caudal de agua-glicolada en un conducto del manto, en [m<sup>3</sup>/s].

$A_{\text{manto}}$ : área de un conducto del manto, en [m<sup>2</sup>].

$V_{\text{mezcla manto}}$ : velocidad del agua-glicolada, en [m/s].

$$A_{\text{manto}} = (\pi * D_{\text{manto}}^2) / 4; \quad D_{\text{manto}}: \text{diámetro de los conductos del manto, en [m}^2\text{].}$$

Por lo tanto la ecuación para el caudal en función del diámetro de los conductos que conforman el manto frigorífico queda como sigue.

$$Q_{\text{manto}} = V_{\text{mezcla manto}} * (\pi * D_{\text{manto}}^2) / 4$$

$$D_{\text{int colec}} = [(Q_{\text{manto}} * 4) / (V_{\text{mezcla manto}} * \pi)]^{0,5}$$

$$D_{\text{int colec}} = [(0,00011 \text{ m}^3/\text{s} * 4) / (0,5 \text{ m/s} * \pi)]^{0,5}$$

$$D_{\text{int colec}} = 0,0167 \text{ (m)} = 16,7 \text{ (mm)}$$

El diámetro interior determinado es de 16,7 milímetros, por lo cual dicho diámetro no se encuentra dentro de los comercializados, por lo que se selecciona el diámetro comercial más cercano el cual corresponde a 20 milímetros de diámetro exterior con un espesor de 1,9 milímetros. Por lo tanto el

diámetro interior de los conductos PEX es de 16,2 milímetros. Con el diámetro de conducto ya determinado se recalcula la velocidad con la cual circula el agua-glicolada por el manto.

$$Q_{\text{manto}} = A_{\text{manto}} * V_{\text{mezcla manto}}$$

$$Q_{\text{manto}} = V_{\text{mezcla manto}} * (\pi * D_{\text{manto}}^2) / 4$$

$$V_{\text{mezcla manto}} = 4 * Q_{\text{manto}} / (\pi * D_{\text{manto}}^2)$$

$$V_{\text{mezcla manto}} = 4 * 0,00011 \text{ m}^3/\text{s} / (\pi * 0,0162^2 \text{ m}^2)$$

$$V_{\text{mezcla manto}} = 0,54 \text{ [m/s]}$$

Finalmente los conductos que componen el manto frigorífico tendrán un diámetro nominal exterior de 20 milímetros y espesor de pared de 1,9 milímetros, además la mezcla de agua-glicol que circula por los conductos de PVC tiene una velocidad de 0,54 m/s.

### 2.3.3.3. Temperatura de la mezcla agua-glicol en el manto frigorífico.

Para determinar la temperatura del fluido circulante se utiliza la ecuación de transferencia de calor que se representa a continuación.

$$Q = A_{\text{TC}} * U * (t_{\text{sup hielo}} - T_{\text{fluido}})$$

Dónde:

$A_{\text{TC}}$ : Área total de transferencia de calor, en  $\text{m}^2$ .

$U$ : Coeficiente global de transferencia de calor, en  $\text{W}/(\text{m}^2 * \text{K})$ .

$$A_{\text{TC}} = N^{\circ} \text{ tubos} * \pi * D_{\text{ext.}} * L$$

$$A_{\text{TC}} = 250 * \pi * 0,02 * 30$$

$$A_{\text{TC}} = 471,24 \text{ [m}^2\text{]}$$

Para determinar el coeficiente global de transferencia de calor es necesario tener en cuenta que se trata de un problema de convección forzada, ya que el fluido se mueve debido a una bomba.

El coeficiente convectivo del fluido queda representado por el número de Nusselt (adimensional), además como se trata de un problema de convección forzada el Nusselt está en función del número de Reynolds y Prandtl, de esta manera es necesario determinar estos valores.

A continuación se presentan las ecuaciones para determinar el coeficiente convectivo del fluido.

Numero de Prandtl y Reynolds.

$$Pr = (C_p * \mu) / \lambda \qquad Re = (V * d * \rho) / \mu$$

Conociendo el fluido refrigerante (agua-glicol) se estima una temperatura de referencia con el fin de obtener los datos físicos de dicho fluido, la cual puede ser de -12 °C.

Tabla 2.11: Propiedades del agua glicolada al 35%, con temperatura de referencia de -12°C

Fuente: Obtenido de: <http://www.celsius-process.com/es/herramientas.php>

Agua-glicolada al 35%	T <sub>r</sub> = -12 °C
Densidad [ $\rho$ kg/m <sup>3</sup> ]	1066,8
Calor específico [ $C_p$ J/(kg*K)]	3504,6
Viscosidad dinámica [ $\mu$ (Pa*s)]	0,004097
Conductividad térmica $\lambda$ [W/(m * K)]	0,4502

Conocidas las propiedades físicas del fluido (tabla 2.11) y utilizadas las ecuaciones del número de Prandtl y Reynolds, se determinan sus valores.

Pr = 31,89 (adimensional)

Re = 2.278 (adimensional); como el N° de Reynolds es menor a 3000 se determina que corresponde a régimen laminar.

Con los valores obtenidos de Re y Pr se determina la ecuación de Nusselt para las condiciones obtenidas la cual queda representada como sigue.

$$\text{Nu} = (49 + 4,17 * \text{Re} * \text{Pr} * d/L)^{1/3} \quad \text{Régimen Laminar.}$$

Reemplazando los valores, el N° de Nusselt es:

$$\text{Nu} = 5,97 \text{ (adimensional)}$$

Ahora para determinar el coeficiente convectivo, se utiliza la ecuación de Nusselt.

$$\text{Nu} = (\alpha_{\text{glicol}} * d) / \lambda_{\text{glicol}}$$

$$\alpha_{\text{glicol}} = (\text{Nu} * \lambda_{\text{glicol}}) / d$$

$$\alpha_{\text{glicol}} = 165,857 \text{ [W / (m}^2 * \text{K)]}$$

Con el coeficiente convectivo ya determinado y los valores de conductividad térmica de los materiales utilizados, se procede a determinar el valor de U.

$$U = 1 / (1/\alpha_{\text{glicol}} + r_1/\lambda_{\text{PEX}} * \text{Ln}(r_2/r_1) + r_1/\lambda_{\text{hielo}} * \text{Ln}(r_3/r_2))$$

Dónde:

$\alpha_{\text{glicol}}$ : coeficiente de convección del agua-glicolada, en [W/(m<sup>2</sup> \* K)].

$r_1$ : distancia del centro del conducto a su pared interior, en [m].

$r_2$ : distancia del centro del conducto a su pared exterior, en [m].

$r_3$ : distancia del centro del conducto hasta la superficie del hielo, en [m].

Tabla N° 2.12: Datos de la conductividad térmica de los materiales.

Fuente: Sanchez, *Transferencia de Calor*, 2010.

MATERIALES	$\lambda$ [W / (m * K)]
PEX	0,41
Hielo	2,2

$$U = 62,04 \text{ [m}^2 \text{ * K / W]}$$

Utilizando la ecuación de transferencia de calor, finalmente se obtiene la temperatura del agua-glicolada.

$$Q = A_{TC} * U * (t_{\text{sup hielo}} - T_{\text{fluido}})$$

$$T_{\text{fluido}} = - [101.670 \text{ [W]} / (471,24 \text{ [m}^2] * 62,04 \text{ [m}^2 \text{ * K / W)}) + 5 ]$$

$$T_{\text{fluido}} = -8,5 \text{ }^\circ\text{C} \approx -8^\circ\text{C}$$

Resumiendo, el suelo frigorífico se compone de 250 conductos de 30 metros cada uno, que se distribuyen en un largo de 20 m con una separación de 8 cm, cada uno de estos conductos tiene un diámetro nominal de 20 milímetros y espesor de pared de 1,9 milímetros. En total bajo el suelo circula un flujo de refrigerante de 98 [m<sup>3</sup>/h], por lo cual, cada conducto tendrá un flujo de agua-glicolada al 35%, de 0,39 (m<sup>3</sup>/h).

Para entregar las características necesarias al hielo de la pista, el fluido refrigerante debe tener una temperatura de  $-8^\circ\text{C}$ , así de esta manera se permite entregar el calor necesario para formar la pista de hielo.

## 2.4. Selección de máquinas, equipos y componentes

### 2.4.1. Máquina enfriadora (chiller).

Con los datos de calor a retirar del recinto, obtenidos en el punto 2.2., la temperatura a la cual circula el fluido refrigerante (agua-glicol al 35%) y las características de la superficie de hielo requeridas, el equipo (chiller) recomendado, por la empresa TRANE, para satisfacer las necesidades requerida por el sistema, es el modelo CGAN 700 el cual posee las siguientes características generales que se aprecian en la tabla 2.13.

Tabla N° 2.13: Datos generales de la maquina enfriadora (chiller) seleccionada. *Fuente: Cotización Trane Chile S.A*

datos generales	
Refrigerante	R407C
Capacidad de enfriamiento total	101,9 kW
Capacidad de enfriamiento neto	101,1 kW
Número de compresor (s)	6
Número de paso de capacidades (s)	4
Tipo de fluido	PROPINEL GLYCOL
Número de circuito de refrigerante	2

A continuación se presentan los datos técnicos de la maquina enfriadora seleccionada.

Tabla N° 2.14: Datos técnicos de la maquina enfriadora seleccionada. Fuente: Cotización Trane Chile S.A

<b>EVAPORADOR</b>	
Temperatura del agua	-5 [°C]
Temperatura de salida del agua	-8 [°C]
variación de temperatura del agua	3 [°C]
Caudal de agua	27,22 [L / s]
Pérdidas de carga	48,7 [kPa] (5 m Tramo F-A)
Concentración de glicol	35,4 [%]
Factor de ensuciamiento	0,0440 [m <sup>2</sup> * K/kW]
<b>CONDENSADOR</b>	
Temperatura del aire	32 [°C]
Número de fan (s)	6

#### 2.4.2. Selección de la Bomba

Para la selección de la bomba es necesario determinar las condiciones de trabajo a la cual estará expuesta, es por esto que se debe determinar la altura, debido a las pérdidas de carga que efectúan los conductos y accesorios presentes en el sistema. Para determinar las perdidas primarias en el sistema se evalúa en tres partes debido a las diferentes características de caudal y diámetros. La primera parte a evaluar son los ductos que conducen la mezcla de agua-glicol a los colectores que distribuyen la mezcla al manto frigorífico y el ducto que retorna el fluido desde el colector de salida hasta la máquina enfriadora, en la figura 2.10 se pueden apreciar estos tramos representados en A-B y E-F respectivamente. En esta etapa el fluido que circula por el ducto tiene el caudal total (98 m<sup>3</sup>/h) y un diámetro exterior de 140 milímetros con un espesor de pared de 2,8 milímetros. La segunda parte a evaluar son los colectores de ingreso del fluido al manto y los colectores que reciben el fluido para su retorno, representado en la figura 2.10 como el tramo B-C y D-E respectivamente. En esta etapa el caudal varia, ya que en cada conducto del manto ingresa una cantidad de flujo volumétrico, lo cual provoca que mientras avance el caudal en el interior del colector este disminuye continuamente de forma proporcional. Los conductos que forman los colectores tienen la misma geometría de los conductos anteriores.

La tercera parte a evaluar son las pérdidas de carga producidas en los ductos que forman el manto frigorífico representados en la figura 2.10 como el tramo C-D o B-E, estos tienen un diámetro nominal exterior de 20 milímetros y espesor de pared de 1,9 milímetros, por el cual circula un flujo de 0,39 (m<sup>3</sup>/h) de la mezcla.

Como se mencionó anteriormente el material de los colectores y ductos encargados de conducir y retornar el fluido desde y hacia el chiller, es de PVC y los conductos que forman el manto frigorífico son de polietileno reticulado (PEX).

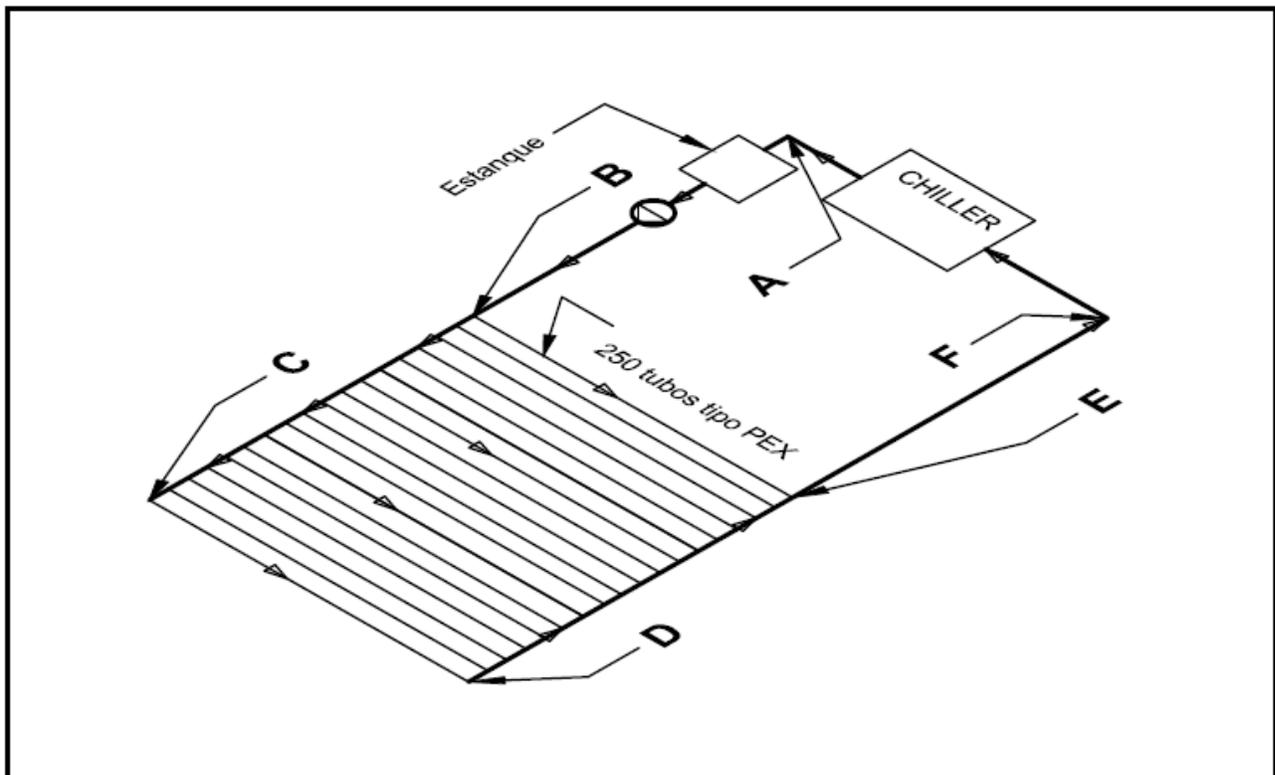


Figura 2.10: Representación esquemática del circuito de la mezcla en los conductos que conforman la pista. Fuente: *Elaboración propia*.

Como se puede apreciar en la figura 2.10 el tramo A-B representa el ducto que conduce la mezcla desde el chiller hasta el colector de entrada. El tramo B-C representa el colector de entrada al manto frigorífico. Los tramos B-E y C-D representan a los conductos que forman el manto frigorífico. El

tramo D-E corresponde al colector de salida de la mezcla de agua-glicol del manto, y el tramo E-F corresponde al ducto que lleva la mezcla desde el colector de salida hasta la maquina enfriadora.

#### 2.4.2.1. Cálculo de las pérdidas de carga.

Primero se realizan los cálculos de las perdidas primarias, utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach en función del caudal, la cual se presenta a continuación.

$$H = 0,0826 * f * Q^2/D^5 * L$$

Dónde:

H: perdida de carga por fricción, en [m].

F: factor de fricción, adimensional

Q: caudal que circula por el ducto, en [m<sup>3</sup>/s].

D: diámetro interior del conducto, en [m].

L: largo del conducto, en [m].

El factor de fricción es un parámetro adimensional el cual depende del número de Reynolds, el diámetro del conducto, y de la rugosidad de la superficie del conducto (la cual depende del tipo de material y del conducto). El factor de fricción se puede determinar utilizando el Abaco de Moody, considerando las variables ya mencionadas.

Primero se determina el factor de fricción de los conductos de PVC.

$$Re = (V * d * \rho) / \mu$$

$$Re = (1,94 \text{ m/s} * 0,1334 \text{ m} * 1066,8 \text{ kg/m}^3) / 0,004097 \text{ Pa*s}$$

$$Re = 67.387; \quad \text{como el } Re > 3000 \text{ se trata de un flujo turbulento.}$$

$$\epsilon_{PVC} = 0,0015 \text{ [mm]}$$

$$D_{int.} = 133,4 \text{ [mm]}$$

$$\epsilon/D = 0,0015/133,4 = 0,000011$$

Con los cálculos realizados se ingresa al Abaco de moody y se obtiene el factor de fricción como se puede apreciar en la figura 2.11. Por lo ya mencionado para conductos de PVC utilizados en el circuito, el factor de fricción es de 0,019.

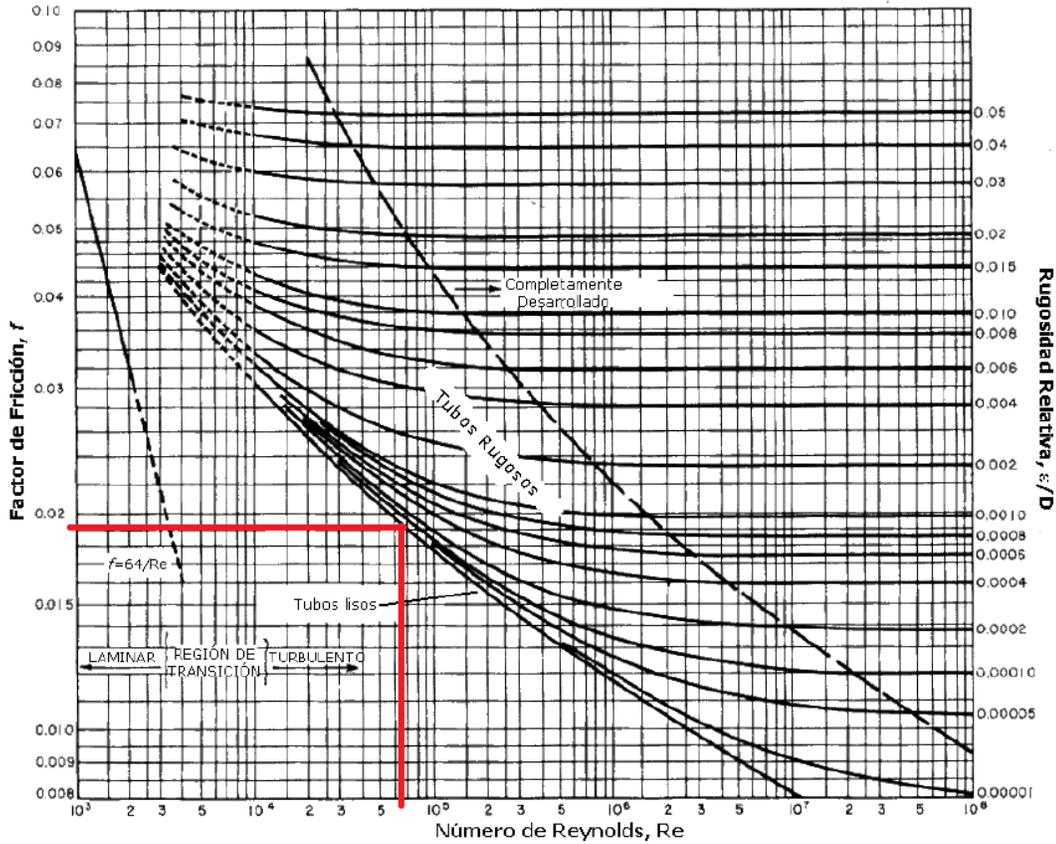


Figura 2.11: Factor de fricción, Abaco de Moody. Fuente: EPS de Ingeniería de Gijón, 2008.

Con el factor de fricción determinado se evalúan las pérdidas de carga en el conducto que lleva el fluido desde el chiller hasta el colector de la pista. Reemplazando los datos del ducto y el factor de fricción en la ecuación de Darcy-Weisbach se obtiene las pérdidas de dicho tramo.

$$L_{A-B} = 10 \text{ [m]}$$

$$H_{A-B} = 0,0826 * 0,019 * (0,0272)^2 / (0,1334)^5 * 10$$

$$H_{A-B} = 0,275 \text{ [m]}$$

$$H_{A-B} = H_{E-F} = 0,275 \text{ [m]}$$

En los colectores el caudal disminuye mediante avanza el fluido, debido a que en este tramo comienza a ingresar la mezcla de agua-glicol a los conductos del manto frigorífico, es por esto que las pérdidas de carga en los colectores es diferente en cada tramo del recorrido. Los conductos del manto están separados en 8 centímetros uno de otro por lo que en el colector cada 8 centímetros varía la pérdida en este conducto. Se determinan las pérdidas en el colector el cual se secciona en 250 tramos de 8cm, debido a la cantidad de conductos que forman el suelo frigorífico, se presenta una tabla resumida de los cálculos de pérdidas en los colectores.

Tabla N° 2.15: Resumen de cálculos de pérdidas de carga en los colectores.

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>TRAMO</b>	<b>Q</b>	<b>V</b>	<b>Re</b>	<b>f</b>	<b>Perd REG</b>
	m3/s	m/s	Adim	adim	m
1	0,027113	1,9400	67383	0,01950	0,00224545
2	0,027004	1,9320	67112	0,01950	0,00222937
3	0,026895	1,9240	66841	0,01950	0,00221334
4	0,026786	1,9170	66571	0,01960	0,00219736
5	0,026677	1,9090	66300	0,01960	0,00218144
100	0,016322	1,1680	40565	0,02180	0,00091104
101	0,016213	1,1600	40294	0,02190	0,00090029
102	0,016104	1,1520	40023	0,02190	0,00088961
103	0,015995	1,1440	39752	0,02190	0,00087898
247	0,000299	0,0210	743,6	0,08610	0,00000121
248	0,000190	0,0140	472,7	0,13540	0,00000077
249	0,000081	0,0060	201,8	0,31710	0,00000033
<b>H<sub>B-C</sub></b>					<b>0,20244377</b>

La pérdida de carga total del colector de entrada corresponde a 0,202 metros, ésta pérdida es la misma que se produce en el colector de salida por lo que  $H_{B-C} = H_{D-E}$ .

Las pérdidas producidas en los tramos C-D y B-E, correspondiente al manto frigorífico, conducen el fluido en un régimen laminar esto se verifica debido a que su Re es menor a 3000 ( $Re = 2.278$ ). Para determinar el factor de fricción para un fluido en régimen laminar se utiliza la ecuación siguiente.

$$f_{C-D} = 64/Re$$

$$f_{C-D} = 64/2.278 = 0,0281$$

El factor de fricción para los conductos que forman el manto frigorífico es de 0,0281, ahora se procede a determinar las pérdidas de carga producida por el fluido en régimen laminar en los ductos del manto frigorífico.

$$H_{C-D} = 0,0826 * f_{C-D} * Q_{PEX}^2 / D_{PEX}^5 * L_{PEX}$$

$$H_{C-D} = 0,0826 * 0,0281 * 0,000108^2 / 0,0162^5 * 30$$

$$H_{C-D} = 0,728 \text{ [m]}$$

Ya determinadas las pérdidas producidas en los conductos de la pista se puede apreciar las pérdidas totales.

$$H_T = H_{A-B} + H_{B-C} + H_{C-D} + H_{D-E} + H_{E-F} + H_{F-A}$$

$$H_T = 0,275 + 0,202 + 0,728 + 0,202 + 0,275 + 5$$

$$H_T = 6,68 \text{ [m]}$$

Ya determinadas las pérdidas por fricción que se tiene en los conductos, se procede a determinar las perdidas singulares producidas por accesorios, cambios de sección en la red de tuberías, válvulas, etc., para realizar esta evaluación se utiliza la ecuación siguiente.

$$H = \xi * V^2 / (2 * g) = (8 * \xi * Q^2) / (g * \pi^2 * D^4)$$

Dónde:

H: pérdida de carga en la singularidad, en [m].

$\xi$ : coeficiente de pérdidas singulares de los accesorios. Adimensional.

Q: caudal de fluido presente en el ducto, en [m<sup>3</sup>/s].

g: aceleración de gravedad, 9,8 [m/s<sup>2</sup>].

D: diámetro del conducto, en [m].

Los accesorios presentes en el circuito corresponden a dos codos ubicados en los puntos A y F representados en la figura 2.10, además se evalúan las conexiones (unión tipo T) de los conductos que forman el manto frigorífico con los colectores de entrada y salida.

Tabla 2.16: Coeficiente de singularidad de codos con diferente relación de diámetros codos bruscos. Fuente: Blanco, Valverde, & Fernández, 1994.

Codos			Codo brusco	
Radio pequeño, r/D=1	Radio pequeño, r/D=1	Radio grande, r/D=1.5	90°	1,1
90°	0.24	0.19	60°	0.55
45°	0.1	0.09	45°	0.4
30°	0.06	0.06	30°	0.15

De esta manera el coeficiente de singularidad para los codos utilizados en el sistema es de 0,24 considerando un codo de 90° con radio pequeño. De esta manera se procede a realizar los cálculos de pérdidas singulares en los accesorios.

$$H_{\text{codo}} = (8 * \xi_{\text{codo}} * Q_{\text{PVC}}^2) / (g * \pi^2 * D_{\text{PVC}}^4)$$

$$H_{\text{codo}} = (8 * 0,24 * 0,0272^2) / (9,8 * \pi^2 * 0,1334^4)$$

$$H_{\text{codo}} = 0,0464 \text{ [m]}$$

Considerando dos codos, ya que por ambos circula la misma cantidad de flujo de mezcla y poseen idéntico diámetro, la pérdida singular total en los codos es de 0,0928 metros.

Para los cálculos de las pérdidas singulares en las Tes de divergencia, se consideran los cálculos por separado, a las perdidas correspondientes al caudal lateral  $Q_l$  y al caudal recto  $Q_r$  (que no cambia de dirección). Las pérdidas de carga del caudal recto están determinadas en la tabla 2.15, las cuales representan al tramo B-C. En la figura 2.12 se representa las test de divergencia y el correspondiente valor de  $\xi$  (coeficiente de singularidad).

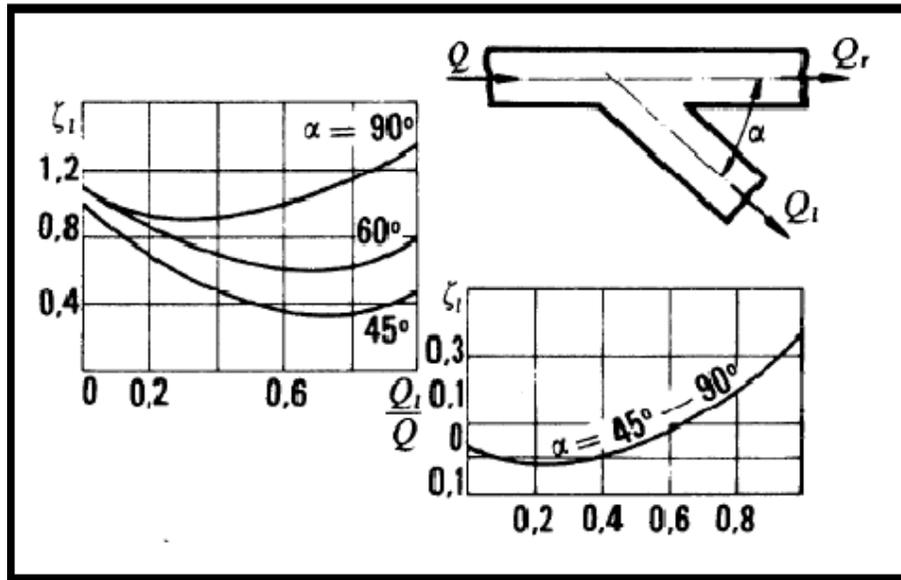


Figura 2.12: Test de divergencia con valores correspondientes a  $\xi$ . Fuente: Huerta, 2010.

El caudal lateral de cada Te corresponde al caudal que circula por cada conducto que forma el manto frigorífico con un ángulo  $\alpha$  de  $90^\circ$ . Considerando este ángulo y las variadas relaciones de caudal de cada Te se determina el coeficiente de singularidad de la gráfica presente en la figura 2.12. Utilizando la ecuación para determinar las pérdidas singulares, en función del caudal se presenta los resultados en la tabla 2.17.

$$H = (8 * \xi * Q^2) / (g * \pi^2 * D^4)$$

Tabla N° 2.17: Resumen de cálculos para pérdidas de carga singulares en uniones te en colector de entrada al manto frigorífico. Fuente: Elaboración propia.

Numero de Tes	Q	V	$\xi(l)$	Re	f	Pérdida lateral (H <sub>l</sub> )
	m <sup>3</sup> /s	m/s	adim	adim	adim	M
1	0,027113	1,9400	1,1	67383	0,01950	0,21120057
2	0,027004	1,9320	1,1	67112	0,01950	0,20950585
3	0,026895	1,9240	1,1	66841	0,01950	0,20781797
4	0,026786	1,9170	1,1	66571	0,01960	0,20613690
5	0,026677	1,9090	1,1	66300	0,01960	0,20446267
100	0,016322	1,1680	1,1	40565	0,02180	0,07654043
101	0,016213	1,1600	1,1	40294	0,02190	0,07552157
102	0,016104	1,1520	1,1	40023	0,02190	0,07450953
103	0,015995	1,1440	1,1	39752	0,02190	0,07350432
104	0,015886	1,1370	1,1	39481	0,02200	0,07250594
105	0,015777	1,1290	1,1	39210	0,02200	0,07151438
106	0,015668	1,1210	1,1	38940	0,02200	0,07052965
107	0,015559	1,1130	1,1	38669	0,02210	0,06955175
244	0,000626	0,0450	1	1556	0,04110	0,00011266
245	0,000517	0,0370	1	1285	0,04980	0,00007685
246	0,000408	0,0290	0,95	1014	0,06310	0,00004787
247	0,000299	0,0210	0,9	743,6	0,08610	0,00002572
248	0,000190	0,0140	0,9	472,7	0,13540	0,00001039
249	0,000081	0,0060	1	201,8	0,31710	0,00000189
<b>PERDIDA TOTAL EN CAUDAL LATERAL 250 Te</b>						<b>17,62</b>

Como se aprecia en la tabla 2.17 las pérdidas debido al caudal lateral de las uniones te en el colector de entrada corresponden a 17,62 metros, por lo cual es la misma pérdida producida en las te conectadas al colector de salida del manto frigorífico, considerando el total de uniones se tiene una pérdida de carga singular por las uniones tipo Te, de 35,24 metros.

Se puede apreciar que las pérdidas totales, por fricción y singulares, son de 42 metros.

Junto con las pérdidas de carga y el caudal determinado en el circuito se obtiene las condiciones de trabajo del sistema el cual corresponde a un caudal de 98 (m<sup>3</sup>/h) y una altura de 42 metros.

Con las condiciones ya mencionadas se determina la potencia generada en el eje de la bomba con la ecuación siguiente.

$$N = \gamma * Q_T * H_T$$

$$\gamma = \rho * g$$

Dónde:

N: potencia en el eje de la bomba, en [W].

$\gamma$ : pesos específico del fluido (agua-glicol), en [N/m<sup>3</sup>].

$Q_T$ : caudal total, en [m<sup>3</sup>/s].

$H_T$ : pérdida de carga total en el circuito, en [m].

$\rho$ : densidad del fluido

$$N = 1066,8 * 9,8 * 0,0272 * 42$$

$$N = 11.947 \text{ [W]} = 16,04 \text{ [HP]}$$

Para las condiciones determinadas por el circuito la bomba de circulación seleccionada para el proyecto es el modelo HS 125-100-305/181 5/1-F-A-BBVP, de la empresa GRUNDFOS con una presión máxima de trabajo de 16 bar, un diámetro nominal de aspiración y descarga de 125 y 100 milímetros respectivamente. A continuación se presenta curva característica de la bomba.

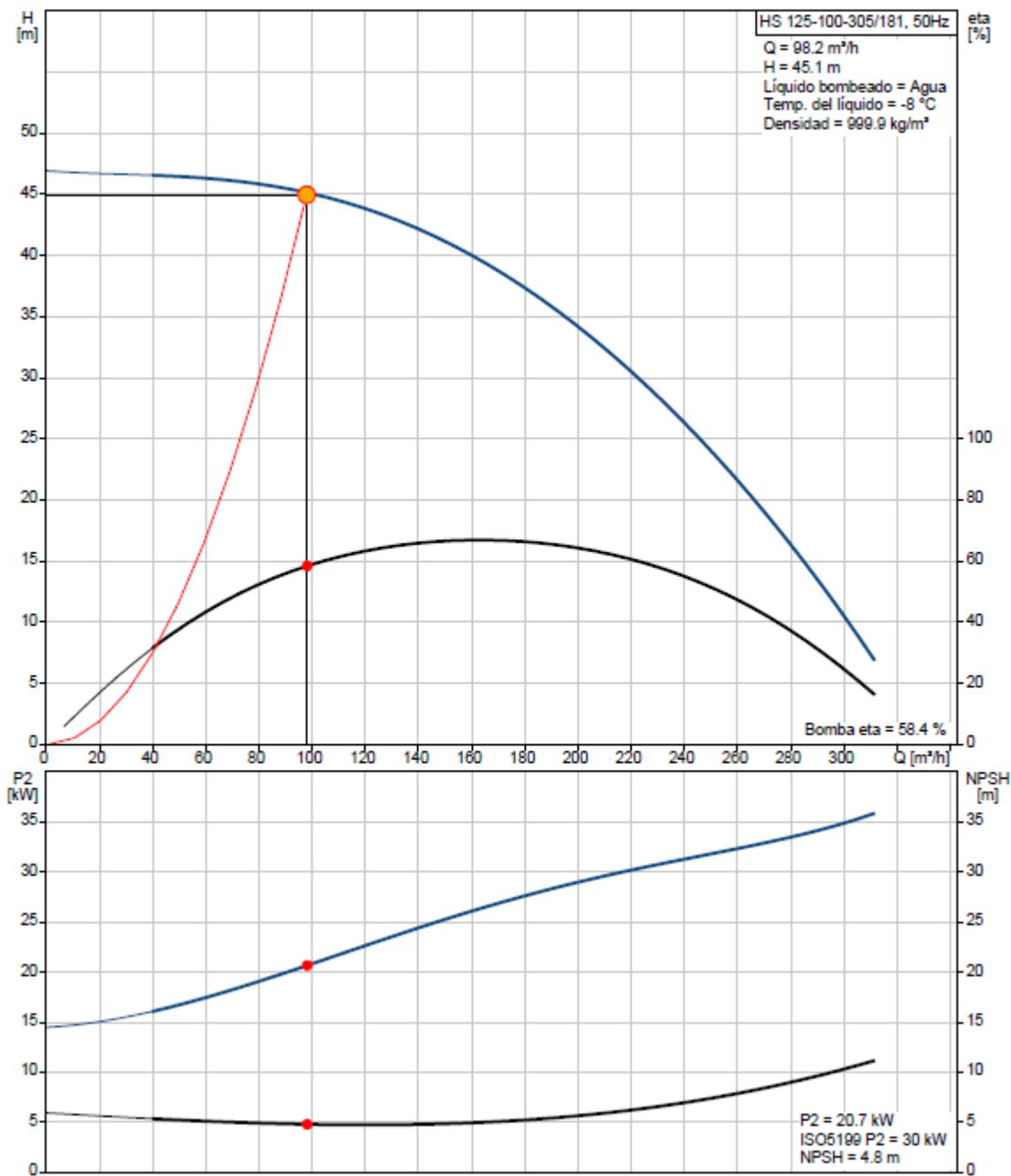


Figura 2.13: Curva característica de la bomba seleccionada para el sistema. Fuente GRUNDFOS S.A.

### **Capítulo 3 EVALUACION ECONOMICA.**

En el presente capítulo se evalúa la parte económica del proyecto, en el cual se considera la inversión necesaria para llevarlo a cabo y los costos que presenta la instalación del circuito correspondiente para formar la pista de hielo, como materiales, equipos y accesorios, además del mantenimiento del sistema durante el periodo de funcionamiento del circuito.

Durante el funcionamiento de la pista se evalúan los costos indirectos (gastos generales) que esta genera, como son el consumo de energía eléctrica en los equipos, el cual es el más relevante dentro de los gastos generales y el mantenimiento que requiere la superficie de hielo.

El análisis de ingresos y costos del proyecto se realiza considerando el arrendamiento del recinto para analizar más profundamente las utilidades que genera la pista de hielo.

Como se aprecia en el capítulo 2 (evaluación técnica), la pista de hielo se evalúa en tres etapas desde el punto de vista técnico por motivos de mantenimiento del circuito y pista. Desde el punto de vista económico se evalúa el proyecto de la misma manera (por etapas) considerando que cada etapa entrega el mismo costo de implementación del circuito.

#### 3.1. Inversión del proyecto.

##### 3.1.1. Inversión en equipos y materiales.

La principal inversión del proyecto está referida a los equipos y materiales necesarios para la construcción de la pista como son los conductos y accesorios, la maquina enfriadora y bombas para la recirculación del fluido en el circuito. A continuación se presentan los costos referidos a los materiales y equipos de la pista de hielo.

Tabla N° 3.1: Representación de costos de materiales y equipos del proyecto.

Fuente: elaboración propia.

<b>Equipo y Materiales</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
CHILLER	\$ 18.215.978	1	\$ 18.215.978
BOMBA	\$ 1.015.500	1	\$ 1.015.500
Conducto PVC [tiras]	\$ 28.670	10	\$ 286.700
Conducto PEX [m]	\$ 510	7500	\$ 3.827.025
Te	\$ 2.700	500	\$ 1.350.000
Codos	\$ 21.700	2	\$ 43.400
Válvulas	\$ 66.106	2	\$ 132.212
			\$ 24.870.815

El costo de instalación de la pista de hielo corresponde a 1,5 veces el costo de los equipos y materiales. Con estos costos (equipos, herramientas e instalación del circuito) se determina la inversión del proyecto la cual asciende a \$ 62.177.038

### 3.2. Costos del proyecto.

#### 3.2.1. Gastos generales.

Los gastos generales, determinan los costos en los que estará expuesto el proyecto mes a mes, dentro de los cuales se consideran los costos por consumo de electricidad de los equipos como la maquina enfriadora, la bomba de recirculación y el arrendamiento del recinto donde se instala la pista, el cual se estima en \$ 3.000.000 mensuales.

Para determinar el consumo eléctrico que tendrá la maquina enfriadora se considera el periodo de tiempo en la cual estará en funcionamiento, por lo cual en promedio el equipo se mantendrá en funcionamiento alrededor de 8 horas por día los 7 días de la semana. El funcionamiento o tiempo efectivo de funcionamiento del chiller depende de que tan rápido se detecte una alza en la temperatura del fluido, por un tema de análisis este será estimado con el tiempo antes mencionado el cual puede variar cuando el sistema sea implementado. Además según las características del equipo la potencia eléctrica que este requiere, según la empresa fabricante (TRANE), es de 62 kW lo cual

representa un consumo eléctrico de 744 kW-h diarios, por lo que anualmente el equipo consume 178.560 kW-h.

Se estima que la bomba se encuentra en funcionamiento durante 7 horas al día. La potencia de la bomba seleccionada es de 45 kW, la cual entrega consumo eléctrico de 113.400 kW-h al mes.

El costo del kW-h en la comuna de Concepción es de 105 pesos por kW-h por lo que el costo anual que representa el consumo de la maquina enfriadora y la bomba corresponde a \$ 30.655.800 de pesos.

### 3.2.2. Costos de insumos operacionales.

Los costos operacionales son referidos a aquellos costos en los cuales se debe desembolsar dinero para que el proyecto se pueda mantener en funcionamiento. Dentro de estos costos se incluye el de mantenimiento del sistema el cual se estima en el 10% del costo de los equipos y materiales, además el mantenimiento del circuito de la pista se realiza una vez por semestre para garantizar el funcionamiento correcto del circuito, por lo cual este se debe realizar dos veces por año para que el sistema funcione de manera más eficiente.

### 3.2.3. Costos de personal.

Los costos de personal son referidos a las personas encargadas de mantener en funcionamiento el proyecto dentro de los cuales se encuentra un administrador encargado de llevar las utilidades del proyecto (el cual tiene un contrato de medio tiempo en el cual asiste solo ciertos días de la semana a evaluar las utilidades generadas por el proyecto), el personal encargado de recepcionar los equipos como patines y EPP'S (elementos de protección personal, personas encargadas de mantener el aseo del recinto como camarines hall, cajeros encargados de realizar los cobros de ingreso a las personas, personal encargado del mantenimiento de la superficie de hielo al momento de cada cierre de jornada para que este se encuentre en óptimas condiciones para el funcionamiento del día siguiente y el personal encargado de la seguridad del recinto. A continuación se presenta una tabla con las respectivas estimaciones de salario del personal antes mencionado.

Tabla N° 3.2: Remuneraciones del personal requerido para el funcionamiento del proyecto evaluado en costos anuales. Fuente: elaboración propia.

<b>CARGO</b>	<b>Cant.</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Costo x Mes</b>	<b>Costo Anual</b>
Administrador	1	Completo	\$ 400.000	\$ 4.800.000
Recepción de equipos	2	Completo	\$ 250.000	\$ 500.000
Aseo	3	Completo	\$ 200.000	\$ 600.000
Cajeros	2	Completo	\$ 300.000	\$ 600.000
Cajero	1	Medio tpo.	\$ 170.000	\$ 170.000
Mantenimiento superficie de Hielo	2	Medio tpo.	\$ 250.000	\$ 500.000
Seguridad	3	Completo	\$ 260.000	\$ 780.000
				<b>\$ 7.950.000</b>

### 3.3. Ingresos.

Para evaluar los ingresos del proyecto se utilizan los valores de las entradas que realizan las empresas presentes en el mercado, para los cuales se toma como referencia el valor de las entradas, que tiene la empresa “CEROGRADO”, la cual es una de las empresas que abarca gran parte del mercado a nivel nacional. Dicho valor de acceso a las instalaciones corresponde a \$ 4.500 la hora de patinaje, durante el periodo de apertura del recinto el cual corresponde al periodo de lunes a jueves de 10:30 a 22:00 horas, viernes y sábado de 10:30 a 24:00 horas y el día domingo de 10:30 a 22:00 horas. Además de los ingresos por el acceso de los usuarios a la pista, se puede obtener ingresos por clases de patinaje artístico y hockey sobre hielo por los cuales se percibiría un valor de \$ 6.000 por clase.

Estimando que diariamente asisten 57 personas en promedio a la pista y mensualmente se realizan 20 clases de patinaje artístico y hockey sobre hielo se percibirá un ingreso anual de \$ 93.780.000

### 3.4. Flujo de caja.

El proyecto se evalúa como proyecto puro, con el fin de determinar si este es viable para realizar su inversión. De esta manera se construye un flujo de caja en el cual se evalúa el proyecto durante un periodo determinado de tiempo, contemplando de esta manera, la inversión necesaria para ejecutar el proyecto en el año cero y evaluando las utilidades que este entregara durante su periodo de evaluación (proyecto en funcionamiento). Analizando los ingresos y egresos que este genera considerando el impuesto a la renta a los cuales se ve expuesto las utilidades del proyecto, se puede determinar si este es viable determinando las variables más representativas como lo son el VAN (valor actual neto), que corresponde a la diferencia entre los ahorros netos totales durante un periodo de evaluación determinado y la inversión neta, y la TIR (tasa interna de retorno) la cual corresponde a los rendimientos futuros esperados de la inversión,.

El proyecto se evalúa durante un periodo de 20 años analizando la depreciación de los activos, el valor residual de estos cuando el proyecto haya finalizado, las reinversiones que se realizan en el proyecto para su funcionamiento. El activo que se deprecia es la maquina enfriadora la cual tiene una vida útil de 20 años por lo cual durante este periodo se devalúa en \$ 910.799 anualmente, la cual tiene un valor residual en ese año de \$ 2000.000, ingreso que se percibirá el último año de evaluación del proyecto (año 20). A continuación se presenta el flujo de caja del proyecto de una pista de hielo en la comuna de concepción.

Tabla N° 3.3: Flujo de caja del proyecto representando los primeros cinco años del periodo de evaluación. Fuente: elaboración propia

ÍTEMS	0	1	2	3	4	5
Ingresos (+)		93.780.000	93.780.000	93.780.000	93.780.000	93.780.000
Costos de operación:						
Costos operacionales		-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163
Costo de personal		-7.950.000	-7.950.000	-7.950.000	-7.950.000	-7.950.000
Gastos generales		-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800
Depreciación (-)		-910.799	-910.799	-910.799	-910.799	-910.799
Resultado antes de impuesto		7.619.238	7.619.238	7.619.238	7.619.238	7.619.238
Impuesto (20%) (-)		-1.523.848	-1.523.848	-1.523.848	-1.523.848	-1.523.848
<b>Utilidad Neta</b>		6.095.390	6.095.390	6.095.390	6.095.390	6.095.390
Depreciación(+)		910.799	910.799	910.799	910.799	910.799
<b>Inversiones (-)</b>						
Instalacion de la Pista	-62.177.038					
Capital de Trabajo (-)						
Reinversiones (-)						
Valor residual						
<b>FLUJO DE CAJA</b>	-62.177.038	7.006.189	7.006.189	7.006.189	7.006.189	7.006.189

Tabla N° 3.4: Flujo de caja del proyecto representado desde el sexto a décimo año del periodo de evaluación. *Fuente: elaboración propia*

ÍTEMS	6	7	8	9	10
Ingresos (+)	93.780.000	93.780.000	93.780.000	93.780.000	93.780.000
Costos de operación:					
Costos operacionales	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163
Costo de personal	-4.150.000	-4.150.000	-4.150.000	-4.150.000	-4.150.000
Gastos generales	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800
Depreciación (-)	-910.799	-910.799	-910.799	-910.799	-910.799
Resultado antes de impuesto	11.419.238	11.419.238	11.419.238	11.419.238	11.419.238
Impuesto (20%) (-)	-2.283.848	-2.283.848	-2.283.848	-2.283.848	-2.283.848
<b>Utilidad Neta</b>	9.135.390	9.135.390	9.135.390	9.135.390	9.135.390
Depreciación(+)	910.799	910.799	910.799	910.799	910.799
<b>Inversiones (-)</b>					
Instalación de la Pista					
Capital de Trabajo (-)					
Reinversiones (-)		-5.018.137			
Valor residual					
<b>FLUJO DE CAJA</b>	10.046.189	5.028.052	10.046.189	10.046.189	10.046.189

Tabla N° 3.5: Flujo de caja del proyecto representado desde el onceavo al décimo quinto año del periodo de evaluación. *Fuente: elaboración propia*

ÍTEMS	11	12	13	14	15
Ingresos (+)	93.780.000	93.780.000	93.780.000	93.780.000	93.780.000
Costos de operación:					
Costos operacionales	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163
Costo de personal	-4.150.000	-4.150.000	-4.150.000	-4.150.000	-4.150.000
Gastos generales	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800
Depreciación (-)	-910.799	-910.799	-910.799	-910.799	-910.799
Resultado antes de impuesto	11.419.238	11.419.238	11.419.238	11.419.238	11.419.238
Impuesto (20%) (-)	-2.283.848	-2.283.848	-2.283.848	-2.283.848	-2.283.848
<b>Utilidad Neta</b>	9.135.390	9.135.390	9.135.390	9.135.390	9.135.390
Depreciación(+)	910.799	910.799	910.799	910.799	910.799
<b>Inversiones (-)</b>					
Instalación de la Pista					
Capital de Trabajo (-)					
Reinversiones (-)				-5.018.137	
Valor residual					
<b>FLUJO DE CAJA</b>	10.046.189	10.046.189	10.046.189	5.028.052	10.046.189

Tabla N° 3.6: Flujo de caja del proyecto representado desde el décimo sexto al vigésimo año del periodo de evaluación. *Fuente: elaboración propia*

ÍTEMS	16	17	18	19	20
Ingresos (+)	93.780.000	93.780.000	93.780.000	93.780.000	93.780.000
Costos de operación:					
Costos operacionales	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163	-4.974.163
Costo de personal	-4.150.000	-4.150.000	-4.150.000	-4.150.000	-4.150.000
Gastos generales	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800	-72.325.800
Depreciación (-)	-910.799	-910.799	-910.799	-910.799	-910.799
Resultado antes de impuesto	11.419.238	11.419.238	11.419.238	11.419.238	11.419.238
Impuesto (20%) (-)	-2.283.848	-2.283.848	-2.283.848	-2.283.848	-2.283.848
<b>Utilidad Neta</b>	9.135.390	9.135.390	9.135.390	9.135.390	9.135.390
Depreciación(+)	910.799	910.799	910.799	910.799	910.799
<b>Inversiones (-)</b>					
Instalacion de la Pista					
Capital de Trabajo (-)					
Reinversiones (-)					
Valor residual					2.000.000
<b>FLUJO DE CAJA</b>	10.046.189	10.046.189	10.046.189	10.046.189	12.046.189

Como se puede apreciar el proyecto obtendrá utilidades durante el periodo de evaluación determinado variando en unos años debido a reinversiones necesarias para su funcionamiento.

Ahora para determinar con seguridad que el proyecto es viable se procede a determinar el valor actual neto del proyecto, llevando al presente las utilidades futuras representadas en el flujo de caja, además de determinar la tasa interna de retorno para ver qué tan rentable será invertir en el proyecto, utilizando una tasa de descuento del 8% para determinar la TIR.

Para el flujo de caja determinado se tiene un VAN del proyecto de \$ 2.866.719 y una TIR de 1%. Al tener un VAN y TIR mayor a cero la inversión del proyecto produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida, por lo cual el proyecto es rentable y se puede invertir en él.

## CONCLUSIONES.

En la presente habilitación profesional se realizó el estudio técnico económico para implementar una pista de patinaje sobre hielo en la provincia de Concepción.

El diseño de la pista consideró tres sectores de 20 x 30 m cada uno con el propósito de:

- Evaluar ampliación progresiva hasta lograr una pista de 30 x 60 m, que permita por ejemplo el desarrollo y exhibición de espectáculos deportivos, como partidos de hockey o patinaje artístico.
- Considerar operación parcial según menor demanda de usuarios.
- Facilitar procesos de mantención y/o reparación sin dejar fuera de servicio el sistema completo.

Las condiciones de espesor y temperatura de la superficie de la pista, se especificaron considerando la norma española NIDE (normativa sobre instalaciones deportivas)

Se realizó una estimación de las distintas cargas térmicas a que estaría sometida la pista considerando, entre otros, las condiciones ambientales exteriores, las características del recinto, el número de usuarios, etc. Las que permitieron la selección de algunos componentes y la realización de cálculos adicionales para seleccionar los restantes. Obviamente, con otros criterios y otras decisiones se puede obtener una solución técnica diferente.

Económicamente el proyecto realizado es viable para su inversión ya que produce utilidades, pero es importante mencionar que dicho análisis fue evaluado sin considerar el costo que produce la edificación del recinto y el terreno donde se ubicaría el proyecto, estos costos harían variar las utilidades y al mismo tiempo los flujos de caja, por lo cual el proyecto podría ser inviable para su realización.

No obstante, los ingresos pueden aumentar, ya que al ser un proyecto que busca entregar una entretención diferente en la zona, puede captar mayor cantidad de clientes.

En resumen, se estima que se han cumplido los objetivos planteados originalmente, mediante el estudio de un problema, integrando materias principalmente del área de termofluidos y del área económica.

Es imperante mencionar que los aportes de calor calculados en el proyecto son para formar el hielo de la pista, considerando las condiciones mas desfavorables, dichos calores serán menores cuando la pista entre en régimen, pero se debe considerar que ésta se encuentra conformada en tres etapas por lo cual constantemente los equipos del sistema se econtraran retirando dicho calor para formar el espesor de hielo requerido, ya que mientras una parte se encuentra en funcionamiento la otra estara en mantenimiento u otro tipo de actividad. Por lo cual constantemente se estará formando el hielo de la pista en las diferentes etapas.

## REFERENCIAS.

1. (CUT), C. U. (29 de Agosto de 2010). Monitoreo Constante corporation. *Monitoreo Constante*. Santiago, Región Metropolitana, Chile. Obtenido de Monitoreo Constante: [www.monitoreoconstante.cl](http://www.monitoreoconstante.cl)
2. ARTV Copyrigh. (2005). ARTV. Recuperado el 13 de Noviembre de 2012, de [http://www.artv.com.mx/es/pista\\_de\\_patinaje.html](http://www.artv.com.mx/es/pista_de_patinaje.html)
3. Blanco, E., Valverde, S., & Fernández, J. (1994). *Sistemas de Bombeo*. Tesis de pregrado, Universidad de Oviedo, Ingeniería.
4. Bonjoch, O. (2009). *NICE SKATING*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2012, de Sitio Web de N-ICE Skating S.L.U: [www.niceskating.com](http://www.niceskating.com)
5. Cengel, Y. (2006). *Thermodynamics: an engineering approach* (6ta ed., Vol. 26). Boston, Carolina del Norte, EE.UU: Mc Graw Hill.
6. Consejo Superior de Deportes. (2010). *Consejo Superior de Deportes, Gobierno de España*. Recuperado el 10 de Junio de 2013, de CDS, España: <http://www.csd.gob.es>
7. Corresa, J. (17 de Mayo de 2011). Sistema de Refrigeración por compresión, Experimentación Ingeniería Química III. (U. d. Alicante, Ed.) *Licencia Creative Commons Reconocimiento - Compartirigual3.0*.
8. Crystian Martínez, J. H. (2010). *Montaje de Subestación Eléctrica Compacta Tipo Espejo para Alimentar Pistas de Hielo*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México , Ingeniería , México D.F.
9. EPS de Ingeniería de Gijón. (2008). *Prácticas de Laboratorio: Pérdidas de cargas en tuberías*. Tesis de postgrado, Universidad de Oviedo, Mecánica de Fluidos.
10. García-Colín, L. (2012). *Y sin embargo se mueven...teoría cinética de la materia* (4ta. ed.). México: Fondo de Cultura Económica.
11. Gatica, J. (2012). *Cargas Térmicas*. Presentación Refrigeración, Universidad del Bío Bío, Ingeniería Mecánica, Concepción, Chile.
12. Gregori, C. C. (Mayo de 2009). Guía básica del Frigorista. *Refrigeración y Climatización: Guía del Frigorista*. Madrid, España: CATAIN S.A.
13. Holanda Copyrigh certifica IAAF. (2007). *Patinando sobre Hielo*. Recuperado el Abril de 2013, de Patinando Sobre Hielo Copyrigh: <http://www.patinandosobrehielo.com/historia>

14. Huerta, V. (Abril de 2010). *Flujo en Tuberías: Horizontal e Inclinada*. Recuperado el 17 de Julio de 2013, de <http://www.dc.107.4shared.com/doc/IrcThcDw/preview.html>
15. Ingeniería Aysen Ltda. (2010). *Caldera, Calefacción, Pellets Aire Acondicionado, Cámaras*. Recuperado el 10 de Julio de 2013, de [www.industriayhogar.cl](http://www.industriayhogar.cl)
16. Instituto Nacional de Normalización. (2013). *INN*. Recuperado el Julio de 12 de 2013, de [www.inn.cl](http://www.inn.cl)
17. International Ice Hockey Federation. (Julio de 2010). *Scribd*. Recuperado el 25 de Diciembre de 2012, de [www.scribd.com](http://www.scribd.com)
18. Michael J. Moran, H. N. (2005). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Fourth Edition* (4ta Edición ed.). (J. Turegano, Trad.) Barcelona, España: Reverté S.A.
19. Milton Lindao, L. V. (2006). Proyecto de desarrollo para la implementación de una pista de patinaje sobre hielo en la ciudad de Guayaquil. 22. Ecuador.
20. Ospino, A. (2003). *Refrigeración*.
21. PERFECTO S.A. (2013). *PERFECTO*. Recuperado el 15 de Julio de 2013, de [www.perfecto.cl](http://www.perfecto.cl)
22. Powered by Aestudio. (2010). *Cerogrado*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2012, de <http://www.cerogrado.cl/index.php?op=2&lang=esp>
23. Precisión, A. d. (2010). *Afilados de Precisión Corporation*. Recuperado el 13 de Junio de 2013, de <http://www.patinaje.net/hielo/index.htm>
24. Rafferty, K. (2007). *Piping*. Recuperado el 17 de Julio de 2013, de <http://web.archive.org>
25. Rojas, C. (Julio de 2008). Análisis de la sostenibilidad de los modelos territoriales Metropolitanos: El caso de Concepción (Chile). *Tesis Doctoral*, 12. Alcalá de Henáres, España.
26. Sanchez, R. (2010). *Transferencia de Calor*. Apuntes, Transferencia de Calor, Universidad del Bío - Bío, Ingeniería Mecánica.
27. Sanchez, R. (2011). *Energía Solar Térmica*. Presentación Proyecto de Instalaciones de Equipos y Maquinas Térmicas., Universidad del Bío- Bío, Ingeniería Mecánica.
28. Téllez, E. (17 de Octubre de 2010). Transiciones de Fases, una propuesta didáctica. *Educatio Physicorum, UNAM*, 4(1), 948.
29. Viñamata, I. (2012). *Pistas de Hielo Artificiales*. México.

30. Weather Underground, I. C. (2013). *Wunderground*. Recuperado el 12 de Julio de 2013, de <http://www.wunderground.com/history/airport>
31. wwip, T. C. (2008). *Word Wide Ice Professionals*. Recuperado el 5 de Junio de 2013, de Sitio Web de WWIP: <http://www.weloveice.com/wwip/catalogos.html>