



Caso de estudio - Proyecto piloto

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

Exploración del potencial para introducir Distritos de Frío en Costa Rica

## INFORME FINAL

Julio 2021

Coordinador del estudio:

Pär Dalin, DEVCCO

Estudio elaborado por:

Lars Hargö, DEVCCO

Aleksandar Ivancic, AIGUASOL

Oriol Gavalrà, AIGUASOL

Joakim Nilsson, DEVCCO

Martí Riera, AIGUASOL

Contraparte técnica del Ministerio de Ambiente y Energía:

Rodolfo Elizondo Hernandez – Coordinador proyecto HPMP

Yoltic Zuñiga Gamboa – Consultor PNUD

Contraparte técnica de ICE:

Juan Carlos Jiménez Ríos- Director de Bienes Inmuebles ICE

Orlando Navarro Alfaro - Ingeniero Dirección de Bienes Inmuebles

Alexander Maykall Arias – Ingeniero Dirección de Bienes Inmuebles

Nota al lector: Todos los gráficos y tablas de este documento son de elaboración propia del equipo consultor de DEVCCO, exceptuando los casos donde se especifica una fuente diferente.

# ÍNDICE

<b>ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>7</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	10
1.2 GENERALIDADES SOBRE DISTRITOS DE FRÍO .....	10
1.2.1 <i>Actividades desarrolladas en el proyecto Distritos de Frío Costa Rica</i> .....	12
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.4 ALCANCE .....	13
<b>2 CLIMATOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
<b>3 EVALUACIÓN DEL MERCADO .....</b>	<b>16</b>
3.1 DEMANDAS DE FRÍO.....	16
3.2 TIPOLOGÍAS DE SISTEMAS DE FRÍO.....	17
3.3 EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE FRÍO ACTUALES PARA LOS EDIFICIOS DE ICE.....	18
3.3.1 <i>Bloque A</i> .....	18
3.3.2 <i>Bloque B</i> .....	18
3.3.3 <i>Casa SAF</i> .....	19
3.3.4 <i>CDCS</i> .....	19
3.3.5 <i>Edificio CENTRAL JMDO</i> .....	19
3.3.6 <i>Edificio DIPOA</i> .....	20
3.3.7 <i>Edificación Ingeniería y Construcción</i> .....	20
3.3.8 <i>Edificio MUSEO</i> .....	20
3.3.9 <i>Bloque C (edificio PROVEEDURÍA)</i> .....	21
3.4 EVALUACIÓN DETALLADA DE DEMANDAS DE FRÍO .....	21
3.4.1 <i>Herramienta de modelado dinámico</i> .....	21
3.4.2 <i>Datos meteorológicos</i> .....	22
3.4.3 <i>Consideraciones de diseño</i> .....	22
3.4.4 <i>Detalle de simulación edificio DIPOA</i> .....	23
3.4.5 <i>Edificio JMDO (Jorge Manuel Dengo Obregón)</i> .....	24

3.4.6	<i>Edificio Bloque A</i> .....	24
3.4.7	<i>Edificio Bloque B</i> .....	25
3.4.8	<i>Edificio Bloque C</i> .....	25
3.4.9	<i>Edificio IC (Ingeniería y Construcción)</i> .....	26
3.4.10	<i>Edificio museo FGA (Museo-Fondo de Ahorro y Garantía)</i> .....	26
3.5	DEMANDAS DE CLIMATIZACIÓN .....	27
3.6	RESULTADOS FINALES .....	28
3.7	MONÓTONAS DE DEMANDA .....	29
3.8	CAPACIDAD DE EDIFICIOS PARA LA CONVERSIÓN A DF .....	29
3.9	PROYECCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE FRÍO .....	31
<b>4</b>	<b>ARQUITECTURA DEL SISTEMA Y OPCIONES TECNOLÓGICAS .....</b>	<b>33</b>
4.1	ARQUITECTURAS DEL SISTEMA .....	33
4.2	PRODUCCIÓN .....	33
4.2.1	<i>Sistema de DF convencional</i> .....	34
4.2.2	<i>Sistema de DF con enfriamiento gratuito con agua de mar profundo (SWAC)</i> .....	34
4.2.3	<i>Sistema híbrido</i> .....	35
4.3	ARQUITECTURA DEL SISTEMA PROPUESTO PARA EL CAMPUS SABANA NORTE DE ICE .....	36
4.4	TIPOLOGÍAS Y NECESIDADES DE LAS CENTRALES DE PRODUCCIÓN DE FRÍO .....	38
4.5	RED DE DISTRIBUCIÓN .....	39
4.6	ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA (ETS).....	42
4.6.1	<i>ETS con Intercambiador de calor</i> .....	43
4.6.2	<i>ETS de conexión directa</i> .....	43
4.7	OPCIONES TECNOLÓGICAS - FUENTES .....	44
4.7.1	<i>Agua del río</i> .....	44
4.7.2	<i>Electricidad</i> .....	45
4.7.3	<i>Planta fotovoltaica</i> .....	45
<b>5</b>	<b>ESTIMACIÓN APROXIMADA DE INDICADORES FINANCIEROS Y ECONÓMICOS.....</b>	<b>47</b>
5.1	INVERSIÓN .....	48
5.2	AHORRO EN COSTOS DE OPERACIÓN.....	50
5.2.1	<i>Ahorros por fotovoltaica</i> .....	50
5.2.2	<i>Consumos energéticos caso base y caso de Distrito de Frío</i> .....	51
5.3	COSTOS EVITADOS .....	53
5.4	RESULTADOS FINALES .....	53

<b>6</b>	<b>PARTES INTERESADAS.....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>MODELO DE PROPIEDAD Y MODELO DE NEGOCIO .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES.....</b>	<b>60</b>
8.1	CONTRIBUCIÓN DE DISTRITOS DE FRÍO AL CUMPLIMIENTO DE POLÍTICAS AMBIENTALES DEL PAÍS.....	60
8.2	REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA CLIMATIZACIÓN DE LOS EDIFICIOS DEL ICE EN SABANA NORTE .....	62
<b>9</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....</b>	<b>63</b>
9.1	IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y CONFIANZA DEL USUARIO.....	63
9.2	ESTRUCTURACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS Y FINANCIACIÓN DEL DESARROLLO .....	64
9.3	SATURACIÓN DEL SUBSUELO .....	64
9.4	CONSUMO ANCLA (JMDO) COMO FASE FINAL DEL PROYECTO.....	64
9.5	CONDICIONES GEOTÉCNICAS.....	64
9.6	IMPOSIBILIDAD DE CONVERSIÓN DE DETERMINADOS EDIFICIOS.....	64
9.7	RIESGO OPERACIONAL .....	64
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
10.1	SISTEMA PROPUESTO .....	65
10.2	INVERSIONES NECESARIAS Y RESULTADOS FINANCIEROS .....	66
10.3	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	66
	<b>ANEXO 1 COSTOS DE CONVERSIÓN DE EDIFICIOS.....</b>	<b>68</b>

## **Acrónimos y Abreviaciones**

BAU - Business as Usual

CAPEX- Costos de inversión

COP – Coeficiente de desempeño (Coefficient of Performance)

DF – Distrito de Frío

DN – Diámetro nominal

DX – Sistemas de expansión directa

ETS - Estaciones de Transferencia de Energía del Cliente

GEI – Gases Efecto Invernadero

GWP – Potencial de provocar calentamiento global (Global Warming Potential)

HCFC – Gases refrigerantes hidroclorofluorocarburos

HDPE - Polietileno de alta densidad (High Density Polyethylene)

HFC - Gases refrigerantes hidrofluorocarburos

IPCC – Panel intergubernamental de cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)

JMDO – (Edificio) Jorge Manuel Dengo Obregón

LCC - Costo de Ciclo de Vida (Life Cycle Costs)

ODP - Capacidad de destrucción de la capa de ozono (Ozon Depletion Potencial)

OPEX – Costos de operación

O&M – Operación y Mantenimiento

PCG - Potencial de calentamiento global

SAO – Sustancias agotadoras de ozono

SEER – Ratio de eficiencia energética estacional (Seasonal Energy Efficiency Ratio)

TIR - Tasa Interna de Retorno

UMA - Unidades manejadoras de aire

VAN - Valor Actual Neto

VRF – Sistemas de expansión directa con flujo de refrigerante variable

VRV - Sistemas de expansión directa con volumen de refrigerante variable

## RESUMEN EJECUTIVO

El Complejo de Desarrollo Inmobiliario para Oficinas Administrativas del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), ubicado en Sabana Norte, fue seleccionado como uno de los casos de estudio dentro de la exploración del potencial para introducir Distritos de Frío en Costa Rica. Es un conjunto de siete edificios, con el uso mayoritario para oficinas o usos similares.

La demanda total de los siete edificios existentes del ICE en Sabana Norte corresponde a 2.864 kW de capacidad y 5.744 MWh de frío al año. Esta se ha determinado realizando modelización de cada uno de los edificios y la simulación detallada de su comportamiento energético. La configuración propuesta del sistema de Distrito de Frío para estos edificios consiste de los siguientes equipos principales: dos enfriadoras eléctricas de una capacidad conjunta de 1.400 kW, para cubrir la carga base, con dos torres de enfriamiento independientes, de una capacidad conjunta de 1.700 kW; una enfriadora eléctrica condensada por aire con una capacidad de 800 kW, para cubrir carga punta; un acumulador con un tamaño de 750 m<sup>3</sup> y una capacidad de 600 kW que se cargará durante la noche y se descargará durante el día. El edificio de la central con equipos de producción de agua helada se ubicará en el extremo noroeste de los terrenos del ICE, en una nueva nave de unos 150 m<sup>2</sup> a construir sobre una parte del actual aparcamiento, mientras que el acumulador se ubicará en otro aparcamiento situado al lado del edificio Jorge Manuel Dengo Obregón. Para el suministro eléctrico del sistema de Distrito de Frío se incorporará una planta solar fotovoltaica de una potencia de 400kWp, que reducirá el consumo de la red eléctrica en horas de tarifa más alta. Esta instalación se ubicará en la cubierta de alguno de los edificios existentes. La distribución de agua helada se realizará por un trazado soterrado, bajo la vía pública, con una longitud de aproximadamente 800 m. El sistema de Distrito de Frío operará con un salto térmico de 10°C en la red de distribución. Se considera utilizar las estaciones de transferencia de energía con conexión indirecta, con intercambiadores de calor en cada edificio.

Esta configuración corresponde a un Distrito de Frío convencional. Se ha identificado la posibilidad de concebir un Distrito de Frío de tipo híbrido cuya eficiencia energética sería mayor, cosa que redundaría en mejores resultados económicos y ambientales. En esta configuración técnica requiere de uso de agua del río Torres, situado a escasos 150 m de la posición de la futura central de producción. El agua del río se utilizaría para enfriar el condensador de máquinas enfriadoras y de esta forma se sustituirían parcialmente las torres de enfriamiento. Sin embargo, la falta de información sobre el caudal y las temperaturas del río de momento no ha permitido afianzar esta solución, por lo que se ha procedido a evaluar los resultados de una configuración convencional.

En el caso que nos ocupa, una de las principales barreras para la implantación de Distritos de Frío, y a la vez barrera para la eliminación de los refrigerantes nocivos para el clima, toma su máxima expresión: las instalaciones de climatización de todos los siete edificios operan en su totalidad con sistemas individuales de expansión directa que distribuyen la energía térmica por el edificio con refrigerante y no con agua helada o aire, que proporcionarían un punto de conexión para el Distrito de Frío. Por esto, es necesario realizar una nueva instalación de climatización dentro de los edificios, cosa que impacta de forma muy considerable las inversiones necesarias y supone ciertas interferencias con el uso habitual de los espacios. Los costos necesarios para la adecuación de los edificios existentes del ICE, para poder conectarlos a la red de distrito, se han analizado por los profesionales del ICE, para luego ser interpretado en el contexto de un sistema de climatización centralizada a nivel de edificio o Distrito de Frío por los autores del estudio. Dentro de la adecuación de edificios se incorpora la opción de integrar la distribución de agua helada mediante un circuito secundario dentro de cada edificio, unas

unidades terminales, y además unas unidades manejadoras de aire centralizadas. Con estas últimas se mejoraría de manera significativa la calidad de aire y el confort de los usuarios.

La inversión necesaria total es de 8,22 millones de US\$, repartida en: la capacidad de producción de agua helada 1.868.000 US\$, la red de distribución -973.800 US\$, las estaciones de transferencia de energía -206.550 US\$, y la inversión en conversión de los edificios existentes, que actualmente operan con unidades de expansión directa, al sistema centralizado a agua helada -5.171.600 US\$. Cabe resaltar que casi dos tercios de la inversión corresponden a la conversión y adecuación de las instalaciones de climatización dentro de los edificios.

El sistema de Distrito de Frío permitiría a la institución conseguir ahorros significativos. Los ahorros consisten en; a) ahorros eléctricos con Distrito de Frío en comparación con sistemas actuales debido a una significativa mejora de la eficiencia energética, b) desplazamiento de consumos de hora punta a los periodos tarifarios de costo inferior mediante la acumulación, c) producción de la electricidad de la instalación fotovoltaica, d) cambio de la tarifa eléctrica pasando a un menor costo, e) costos evitados en la inversión, f) los ahorros de operación y mantenimiento que proporcionará el sistema de Distrito de Frío en comparación con los sistemas actuales de los edificios. Los ahorros totales esperados en consumo eléctrico se sitúan en 700 kUSD al año. En los cálculos de ahorro. Como costos evitados se contempla la inversión que se tendría que hacer si no se optara por desarrollar el Distrito de Frío. Esto significa reposición de equipos actuales al final de su vida útil.

El sistema de Distrito de Frío consigue una reducción del impacto medioambiental muy significativa, reduciendo la cantidad total de refrigerantes de los actuales 3.550 kg a unos 980 kg, siendo los actuales refrigerantes de alto potencial de calentamiento global mientras que los de Distrito de Frío serían los de nueva generación, con potencial de calentamiento global muy bajo. De esta forma se eliminaría un impacto equivalente a la emisión de 720 toneladas de CO<sub>2</sub>, al año.

Los indicadores clave financieros de la estimación se calculan para establecer una línea de base y una evaluación de rentabilidad aproximada del caso piloto de Distrito de Frío. Los cálculos se han realizado al valor presente del dinero, pues no se ha tenido en cuenta la inflación variación de precios eléctricos. Se ha utilizado un costo medio ponderado de capital ("WACC") del 6% para los cálculos de referencia. A partir de los valores de inversión y de ahorros se calcula el flujo de caja y se obtienen los siguientes indicadores financieros: la tasa interna de retorno del 7,9 %, un tiempo de retorno de inversión del proyecto de 10 años, y el valor actual neto (VAN) de 1.095.450 US\$.

El documento incluye un apartado que describe posibles modelos de propiedad y modelos de negocio. El modelo de negocio para un sistema de Distrito de Frío está muy relacionado a las especificidades de cada proyecto. Este debe garantizar que todas las partes interesadas involucradas puedan obtener los beneficios que buscan. La mayoría de los modelos de negocio para Distritos de Frío involucran al sector público hasta cierto punto, ya sea como promotor de políticas, planificador, regulador, consumidor local, o más directamente a través de la propiedad parcial o total de los proyectos.

El esquema de propiedad determina el grado de control, el tipo de propiedad (único / mixto) y el nivel de inversión que ejercen las partes interesadas que invierten en él. El grado de control y el nivel de inversión, por lo tanto, segrega los modelos de negocio de Distritos de Frío en dos categorías principales: la propiedad única o el modelo de propiedad mixta. Las cuestiones de modelos de propiedad y modelos de negocio son las que se tienen que trabajar en las próximas fases del proyecto.

La gestión de riesgos es un asunto de gran importancia en proyectos de este tipo. Por esto, se ha realizado una identificación inicial de riesgos para el caso concreto del Distrito de Frío del ámbito Sabana Norte. Entre los riesgos identificados están: la estructuración de las partes interesadas y financiación del desarrollo, la planificación y coordinación entre la conversión de los edificios y la construcción del Distrito de Frío, con especial atención a la conexión del edificio Jorge Manuel Dengo Obregón ya que representa un consumo importante por

se encuentra en el punto más lejano de la central de producción, la eventual imposibilidad de conversión de determinados edificios, las condiciones geotécnicas y, la implementación de la tecnología y confianza del usuario.

Como la siguiente fase de promoción del proyecto piloto del ámbito Sabana Norte, se recomienda focalizar la dedicación en cuestiones de estructuración y organización del proyecto, para posteriormente retomar las cuestiones técnicas e ingenieriles con más detalle. En este sentido, sería necesario determinar las voluntades y roles de las partes interesadas, incluyendo en primer lugar el propio ICE, para luego, definir el modelo de propiedad y de inversión para el desarrollo del sistema de Distrito de Frío y analizar las opciones de financiamiento. Dadas las capacidades del ICE y su posición en el sector energético de Costa Rica, se recomienda que el proyecto se promueva, gestione y opere desde el ICE.

En este sentido, sería necesario determinar las voluntades y roles de las partes interesadas, incluyendo en primer lugar el ICE, luego el Ministerio de Ambiente y Energía, e involucrando la municipalidad de San José ya que la red de distribución discurre bajo la vía pública. Por último, definir el modelo de propiedad y de inversión para el desarrollo del sistema de Distrito de Frío y analizar las opciones de financiación.

Finalmente, cabe resaltar que este estudio se ha ceñido exclusivamente a los edificios del ICE en Sabana Norte, de acuerdo con el alcance acordado inicialmente entre las partes. Sin embargo, en el mismo ámbito se encuentran grandes edificios propiedad de terceros, como son hoteles o el centro de convenciones, entre otros. Desde el punto de vista técnico, estos edificios son susceptibles a recibir el servicio del Distrito de Frío planteado, mientras que desde el punto de vista económico su inclusión muy probablemente mejoraría los resultados de explotación. Su inclusión necesitaría cierta ampliación de capacidades de producción y de distribución. Se recomienda tener presente la opción de evolucionar el sistema de Distrito de Frío de Sabana Norte de un sistema institucional interno del ICE, a un sistema comercial que ofrece el servicio a terceros.

# 1 Introducción

## 1.1 Antecedentes

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) o Grupo ICE es una institución pública costarricense, formada por el Instituto Costarricense de Electricidad (matriz del grupo) y las subsidiarias Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA). Las actividades del grupo incluyen los sectores de energía y telecomunicaciones. Los negocios del sector eléctrico que incluyen generación, transmisión y distribución.

Dentro del proyecto “Exploración del potencial para introducir Distritos de Frío en Costa Rica”, promovido por el PNUD-MINAE, se ha realizado una valoración preliminar de diferentes ámbitos de la Gran Área Metropolitana de San José. Se han seleccionado tres ámbitos para realizar un estudio más detallado y determinar la prefactibilidad de su promoción como proyectos piloto, con la ambición de introducir el sistema de Distritos de Frío en Costa Rica.

El Complejo de Desarrollo Inmobiliario para Oficinas Administrativas del ICE, ubicado en Sabana Norte, ha sido uno de los sectores seleccionados. Los edificios del ICE en Sabana Norte representan una masa crítica suficiente para constituir un sistema de Distrito de Frío. Sus sistemas de aire acondicionado actuales operan con sistemas pequeños o medianos que contienen una gran cantidad de refrigerantes las cuales son sustancias agotadoras de la capa de ozono y con alto potencial de calentamiento global. Su sustitución aportaría al cumplimiento de eliminación de sustancias agotadoras de ozono, establecida por el Protocolo de Montreal y su enmienda del 2016 acordada en Kigali, ambos firmados por Costa Rica. Los sistemas actualmente instalados en los edificios del ICE en Sabana Norte no son los óptimos en términos de eficiencia energética, frecuentemente son sobredimensionados, lo que demanda un aumento en la potencia eléctrica instalada y contratada, y mayores gastos en consumo de electricidad al que se tendría operando con un sistema centralizado. Si a esto se suma la gran experiencia en el sector energético, la capacidad técnica y de gestión que posee el ICE como empresa pública de producción y distribución de electricidad, este piloto cobra un interés especial.

De esta forma, se ha considerado que el Complejo de Desarrollo Inmobiliario para Oficinas Administrativas del ICE, ubicado en Sabana Norte, es un ámbito de gran interés como ejemplo de proyecto piloto del sistema de Distrito de Frío en Costa Rica.

## 1.2 Generalidades sobre Distritos de Frío

Los Distritos de Frío (DF) consisten en la centralización de la producción de agua helada, la cual es distribuida a los usuarios a través de una red cerrada de tuberías, y estaciones de transferencia en los edificios cliente.

**La producción** puede ser basada en diferentes fuentes y tecnologías que aportan eficiencia y reducen impacto medioambiental. Se pueden utilizar fuentes naturales, como; agua de mar, lagos, ríos, o subterránea, así como el exceso de calor de procesos industriales a través del uso de enfriadores por absorción para producir frío. También, enfriadoras convencionales de alta eficiencia con accionamiento eléctrico.

**El almacenamiento** de agua fría o hielo durante la noche y el día ayuda para aumentar la eficiencia y bajar los costos.

En el lado del cliente, el frío se transfiere a los edificios por medio de las estaciones de transferencia de energía (ETS).

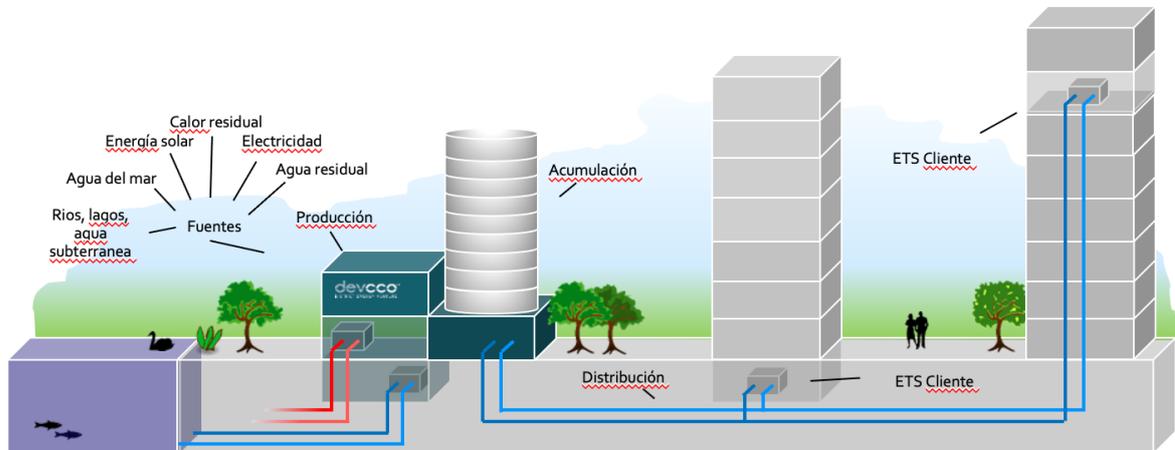


Gráfico 1: Sistema de Distrito de Frío

Existen procesos contrastados para desarrollar proyectos y negocios de Distritos de Frío. Un proceso de desarrollo genérico consta de varios pasos en una serie de actividades que deberían conducir a un sistema y negocio de Distritos de Frío implementado con éxito. Estas actividades se pueden agrupar en varias fases de desarrollo en el proceso de desarrollo general.

Las principales fases posteriores de este proceso se pueden resumir según el siguiente gráfico.

## Desarrollo de un Distrito de Frío

- La introducción y el desarrollo de distritos de frío es un proceso en varias etapas.
- Los recursos en términos de habilidades y financiamiento difieren de una etapa a otra.
- Las dos primeras etapas generalmente requieren al menos seis meses, mientras que las etapas tres y cuatro requieren de 12 a 18 meses cada una para completarse.
- El enfoque en las diferentes actividades varía en las etapas individuales.



Gráfico 2 : Fases del desarrollo del proyecto típico de DF

**Principales retos y barreras para el desarrollo de un Distrito de Frío:** Vincular interesados **ancla** para facilitar el desarrollo del proyecto

- Lograr participación y apoyo del gobierno nacional y local
- Asegurar la mejor combinación de **fuentes** disponibles

- Obtener acceso al **terreno / espacio** para instalaciones de producción y distribución
- Asegurar **ingresos, o ahorros**, suficientes antes de realizar grandes inversiones (contratos de compra)
- Obtener **permisos** ambientales (y otros) a tiempo
- Crear una **organización** comprometida y eficiente, con los mandatos claros
- Optimizar la **ingeniería** y estándares técnicos
- Mantener la **dinámica** del proyecto
- Capacitar a los propietarios e instaladores sobre los métodos de conversión de edificios a sistemas de DF.

## Vectores globales para desarrollo de DF

Demanda global de aire acondicionado – proyección de IEA

- Actualmente, el frío representa casi un 20% de la electricidad usada en edificios, 10% de la demanda total.
- La cantidad de unidades de aire acondicionado crecerá de 1.6 billones actuales hasta 5.6 billones para el año 2050
- Bajo tendencia actual, la demanda de frío en edificios se triplicará para el año 2050
- El aumento más grande será en los países de climas cálidos y tropicales

Reducción de gases refrigerantes HFC

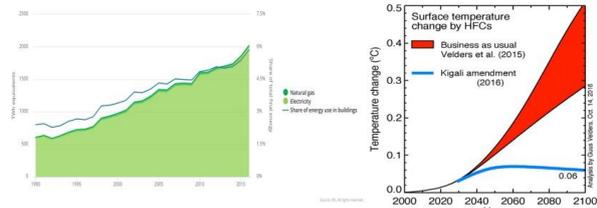
- Compromiso mundial
- Protocolo de Montreal y su Enmienda de Kigali Nov-2016

Impacto Global– Proyección ONU IPCC

- Hasta 0,5 °C debido a los refrigerantes
- Hasta 0,5 °C debido a la eficiencia

Impacto en Negocio

- Equipos existentes se vuelven obsoletos
- Enfriadoras se vuelven más caras



DISTRITO DE FRÍO - ¡Parte de la solución!

- Puede llegar hasta un 25% de participación de mercado a nivel mundial (proyección de la ONU)
- DF: hasta 10 veces más eficiente (promedio de la UE 4-5 veces)
- DF: puede contribuir a reducciones de hasta un 100% de HFC donde se implemente
- DF: puede contribuir a la reducción de picos y el equilibrio de las redes eléctricas.

Gráfico 3: Tendencias de demandas de aire acondicionado

### 1.2.1 Actividades desarrolladas en el proyecto Distritos de Frío Costa Rica

El desarrollo de los Distritos de Frío en Costa Rica se encuentra en una etapa inicial y las actividades realizadas se pueden resumir en:

- Desarrollo de capacidades, seminarios web y educación
- Elaboración de material de comunicación del concepto.
- Introducción de la técnica de Distritos de Frío y la lógica empresarial
- Revisión general del marco regulatorio; revisión preliminar de la reglamentación tributaria para importación
- Evaluación de las partes interesadas:
  - Identificación de un proyecto piloto potencial y sus candidatos relacionados para introducir los Distritos de Frío en Costa Rica
  - Análisis preliminar del potencial para desarrollar un Distrito de Frío en los sitios identificados.

- Identificación de factores y riesgos clave para el éxito
- Conclusiones y recomendaciones para la siguiente fase del desarrollo.

Este estudio de caso de negocio es el resultado de la información recopilada durante los últimos 10 meses, incluidas varias reuniones mantenidas con representantes de ICE.

### 1.3 Objetivos

El objetivo es realizar un estudio inicial, con tal de determinar la prefactibilidad de su promoción como proyectos piloto, con la ambición de introducir el sistema de Distritos de Frío en Costa Rica. El objetivo comprende: una definición técnica del sistema de Distrito de Frío, la valoración económica correspondiente y la evaluación de indicadores financieros.

### 1.4 Alcance

Para el cumplimiento de los objetivos este estudio se desarrolla según una metodología de 6 etapas, expuestas a continuación, detallando el alcance en cada una de estas:

**Estudio de mercado:** proyección de demandas energéticas y capacidades de enfriamiento del ámbito del piloto. Dimensionado inicial de los escenarios de la demanda de frío a nivel de cada edificio y a nivel del conjunto del ámbito. Abarca la situación actual y expansiones previstas para un futuro a medio-corto plazo.

**Conectividad de edificios:** identificación y descripción cualitativa de conectividad de cada edificio al Sistema de DF. Identificación inicial cualitativa de eventuales necesidades de Sistema de distribución y difusión dentro de los edificios. La valoración de costos de inversión en la conversión de edificios se ha elaborado de forma colaborativa entre los profesionales del ICE y los expertos de DEVCCO.

**Definición técnica:** propuesta de arquitectura del sistema y de las opciones tecnológicas, definición de elementos principales de la central de generación de frío, y su pre dimensionado, pre dimensionado del terreno necesario para la central, topología de la red de distribución, pre dimensionado de la red de distribución, pre dimensionado de las subestaciones de transferencia a pie de cada edificio.

**Análisis inicial de costos:** valoración de inversiones necesarias para el sistema definido previamente. Los costos se evalúan a partir de valores específicos de inversión, de la experiencia de otros proyectos similares.

**Partes interesadas:** identificación y mapeo de actores y partes interesadas.

**Modelo de propiedad y de negocio:** identificación de opciones en cuanto a la propiedad de los activos relacionados al sistema de DF e identificación de modelos de negocio plausibles.

## 2 Climatología

La cuestión de la climatología es de suma importancia ya que influye en las demandas de climatización de edificios. A continuación, se realiza una descripción de la climatología de San José y se resaltan los datos más relevantes.

San José se encuentra a 1.172 metros sobre el nivel del mar. Tiene un clima tropical. La lluvia es significativa en la mayoría de los meses del año, y la estación seca es corta. De acuerdo con la clasificación Köppen y Geiger el

clima se clasifica como Am<sup>1</sup>. El clima de Costa Rica esta caracterizado por dos estaciones principalmente, verano (enero a abril) e invierno – época lluviosa (mayo a diciembre), las cuales condicionan el perfil anual tanto de temperaturas como de lluvia. La temperatura promedio anual en San José es 19,5°C, y la precipitación anual es de 2.699 mm.

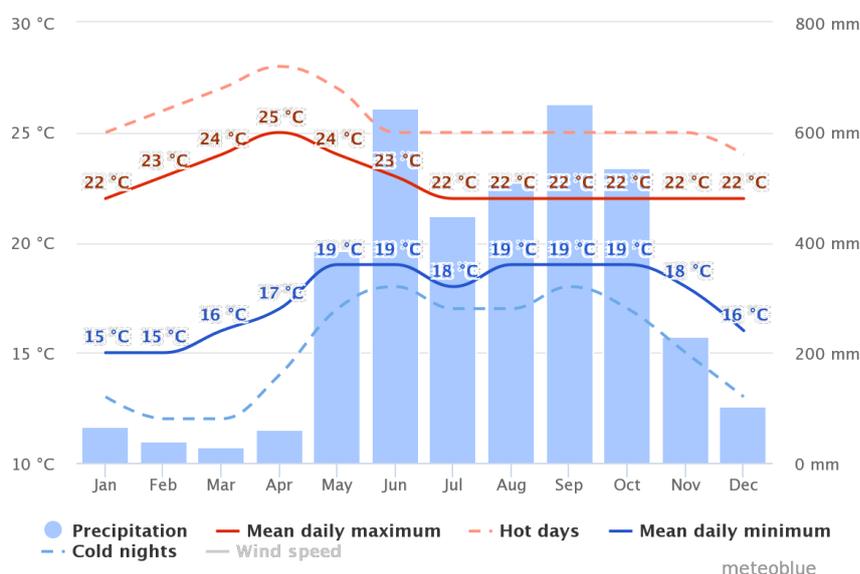


Gráfico 4 : Temperaturas máximas y mínimas. Fuente: Meteoblue

En el gráfico se observa que las temperaturas medias durante el día aumentan de manera progresiva en los meses de enero a abril, llegando a los 25°C, y después se estabilizan en los 22°C durante la segunda mitad del año. Así mismo, las temperaturas medias durante la noche tienen un comportamiento inverso. De los meses de noviembre a febrero (final del invierno) las temperaturas descienden hasta los 15°C de media, y después de mantienen alrededor de los 19°C.

Durante los meses de verano es cuando se encuentran las temperaturas extremas, tanto las promedio como las máximas y mínimas. Las temperaturas mínimas se dan durante la noche/madrugada. A partir de la 6-7 horas de la mañana la temperatura empieza a subir. En verano, las máximas pueden llegar a ascender hasta los 29°C, y las mínimas llegar a descender hasta los 12°C. Esto presenta una oportunidad interesante de generación de frío de noche y acumularlo. Durante los meses de invierno, por el contrario, las máximas y mínimas se sitúan 2-3°C por encima y debajo de las temperaturas promedio diurnas y nocturnas, respectivamente.

El periodo de invierno, con temperaturas más suaves durante el día y la noche, viene caracterizado por la presencia de lluvias abundantes, oscilando entre los 400-600mm de precipitación mensuales, mientras que durante los meses de verano la pluviometría desciende a niveles por debajo de los 50mm.

Finalmente, en el grafico siguiente observamos como la humedad relativa oscila entre el 80-90%.

<sup>1</sup> Clima monzónico es aquel clima afectado por el paso de los vientos del monzón. En el caso de Costa Rica se considera clima monzónico tropical.



Gráfico 5 : Humedad relativa promedio. Fuente: weather-and-climate.com

En el ábaco psicrométrico podemos observar los parámetros del aire ambiente, a nivel horario. Cada hora del año se representa con un punto (color verde). Podemos observar que, sin tener en cuenta las cargas internas del edificio (ganancias solares, ocupación por personas, disipación de iluminación y de equipos ofimáticos, etc.) ya tenemos un número considerable de horas que requieren enfriar y/o deshumectar el ambiente interior.

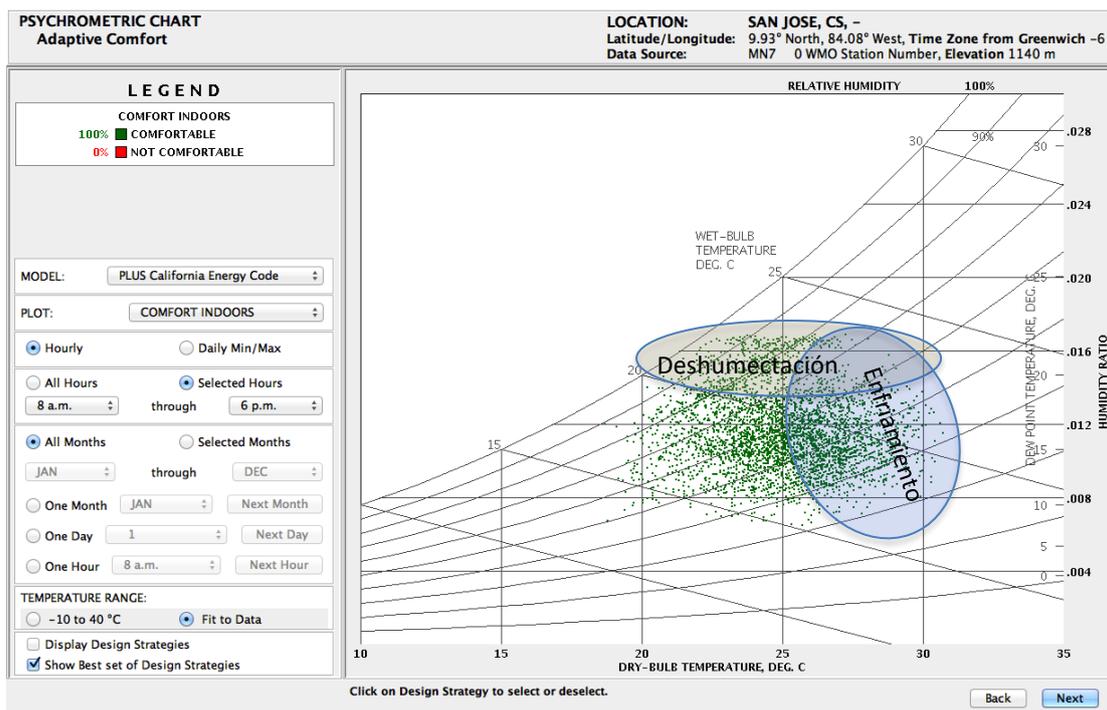


Gráfico 6 : El diagrama psicrométrico San José. Plantilla de Climare Consultant, elaboración propia

San José se sitúa en una latitud de 9,5° C respecto la línea del ecuador, una latitud de -84° y a una altura respecto el nivel del mar de 1.172 metros. Esto le permite disponer de aproximadamente 1.800 kWh/m<sup>2</sup> año. Más adelante, estos datos nos permitirán evaluar el potencial de producción de energía mediante la instalación de placas solares fotovoltaicas.

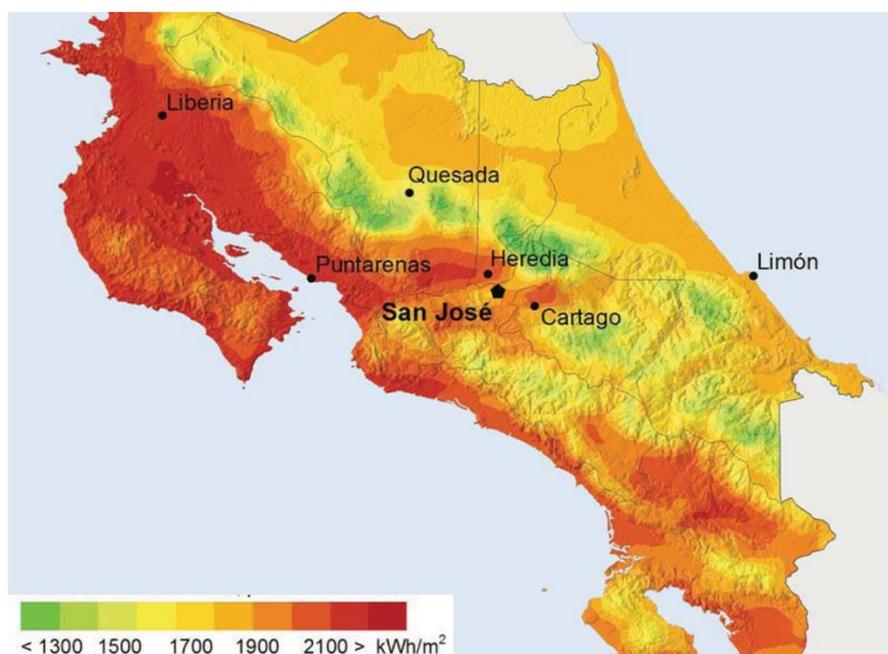


Gráfico 7 : Radiación solar en Costa Rica. Fuente: Solargis

### 3 Evaluación del mercado

La evaluación del potencial del mercado en esta fase inicial incluye la recopilación y combinación de datos disponibles de varias fuentes, como registros de edificios e inmuebles, registros de refrigerantes, perfiles de demanda de electricidad y bases de datos climáticos en la medida de lo posible.

La información técnica del aire acondicionado instalado en los edificios ICE seleccionados se ha recopilado y evaluado mediante la realización de inventarios técnicos de los edificios.

El resultado de la evaluación inicial del mercado es un consumo de energía de referencia y una carga de refrigeración para el área identificada, tanto para los mercados actuales como futuros.

#### 3.1 Demandas de frío

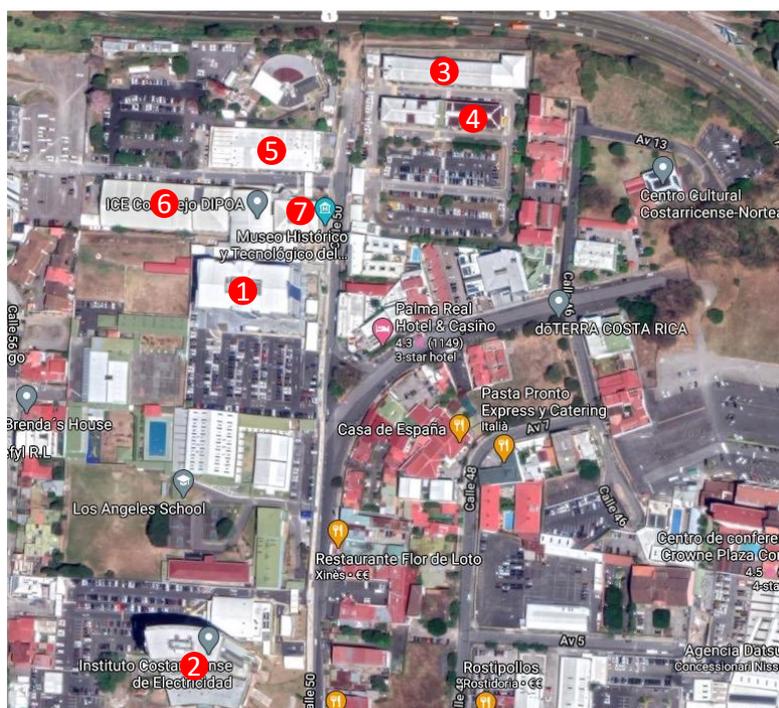
En el ámbito de Sabana Norte se identificaron y consideraron nueve edificios del ICE para este estudio, los cuales se describen a continuación.

- 1) el más grande es el Edificio Central Jorge Manuel Dengo Obregón (JMDO) con una superficie edificada total o bruta de 20.100 m<sup>2</sup>.

A continuación, se mencionan otros edificios, siempre indicando su ubicación referente al JMDO:

- 2) Bloque A, ubicado en Sabana Norte, 300 m al norte del edificio Jorge Manuel Dengo Obregón. Superficie edificada bruta de 5.300 m<sup>2</sup>.

- 3) Bloque B, ubicado en Sabana Norte, 300 m al norte del edificio Jorge Manuel Dengo Obregón. Superficie edificada bruta de 4.200 m<sup>2</sup>.
- 4) Casa SAF, ubicada 100 m al oeste del edificio Jorge Manuel Dengo, Sabana Norte. Superficie edificada bruta de 240 m<sup>2</sup>.
- 5) CDCS, ubicado en Sabana Norte, 350 m al norte del edificio Jorge Manuel Dengo Obregón. Superficie edificada bruta de 1.300 m<sup>2</sup>.
- 6) Edificio DIPOA, ubicado en Sabana Norte, 200 m al norte del edificio Jorge Manuel Dengo Obregón. Superficie edificada bruta de 11.850 m<sup>2</sup>.
- 7) Edificio Ingeniería y Construcción, ubicado en Sabana Norte, 300 m al norte del edificio Jorge Manuel Dengo Obregón. Superficie edificada bruta de 5.370 m<sup>2</sup>.
- 8) Edificio MUSEO, en Sabana Norte, 300 m al norte del edificio Jorge Manuel Dengo Obregón. Superficie edificada bruta de 1.680 m<sup>2</sup>.
- 9) Bloque C (edificio PROVEEDURÍA), en Sabana Norte a 300 m al norte del edificio Jorge Manuel Dengo Obregón. Superficie edificada bruta de 2.000 m<sup>2</sup>.



- 1 DIPOA
- 2 JMDO (Jorge Manuel Dengo Obregón)
- 3 Bloque A
- 4 Bloque B
- 5 Bloque C (Proveduría)
- 6 Edificio Ingeniería y Construcción (IC)
- 7 FGA (Museo-Fondo de Ahorro y Garantía)

Gráfico 8 : Posición de los edificios del ICE en Sabana Norte, San José. Fuente: ICE

### 3.2 Tipologías de sistemas de frío

Las dos tipologías de tecnología de aire acondicionado más frecuentes son los siguientes:

- Los sistemas centralizados se caracterizan por una producción de frío, que es agrupada, centralizada a nivel de edificio o conjunto de edificios, donde se utilizan unos equipos – enfriadoras o bombas de calor – que producen agua helada que se distribuye por todo el edificio hacia unidades terminales, o abastecen unas UMAs centralizadas que preparan el aire que se distribuye mediante ductos por todo el edificio. Según la

información recopilada, ninguno de los edificios del ICE en Sabana Norte dispone de esta tipología de sistemas de aire acondicionado.

- Los sistemas descentralizados, individuales, como los sistemas split o multi-split o equipos sin ductos, son esencialmente diferentes de los sistemas de agua helada y sistemas de aire distribuido por ductos en que el calor se transfiere hacia o desde el espacio directamente mediante la circulación de refrigerante, a menudo HCFC y HFC, a los evaporadores ubicados cerca o dentro de los espacios acondicionados. Los sistemas denominados VRV / VRF son versiones grandes y complejas de sistemas multi split sin ductos, con la posibilidad adicional de conectar unidades fan coils con ductos. Los sistemas VRV / VRF son más sofisticados que los sistemas split, con múltiples compresores y muchos evaporadores que se colocan principalmente en las azoteas de los edificios. Estos equipos necesitan sistemas complejos para la gestión y control de aceite y refrigerante. La desventaja medioambiental de estos equipos es que se utiliza grandes cantidades de refrigerante el cual circula por el edificio, llegando hasta los espacios acondicionados. Una vez instalado VRV / VRF, el edificio se convierte en un cliente cautivo de esta tecnología y frecuentemente cautivo de un único fabricante. Una de las barreras más importantes para la introducción de Distritos de Frío, y también una barrera importante para la eliminación progresiva de HFC y HCFC, es el amplio uso de "sistemas divididos" o VRV / VRF (sistemas "multi-split"), muy extendida en los edificios existentes y posiblemente también en nuevos desarrollos.

### 3.3 Evaluación de sistemas de frío actuales para los edificios de ICE

A continuación, se describe la información considerada relevante que fue recopilada para cada uno de los edificios del complejo de Sabana Norte.

#### 3.3.1 Bloque A

- Cuenta con un total de 100 unidades de aires acondicionado tipo split, casete y VRV/VRF, con una capacidad total de 560 kW (160 TR).
- El espacio total con aire acondicionado es de aproximadamente 3.800 m<sup>2</sup>. La demanda de refrigeración se estima en 150 W/m<sup>2</sup>.
- Todas las unidades instaladas utilizan refrigerante R-410A, que es una mezcla de HFC con un valor de potencial de calentamiento global (PCG) alto = 2.088.
- La antigüedad promedio de las unidades instaladas es de 1-2 años.

#### 3.3.2 Bloque B

- Cuenta con un total de 28 unidades de aires acondicionado tipo split, y ductos, con una capacidad total de 200 kW (57 TR).
- El espacio total con aire acondicionado es de aproximadamente 1.100 m<sup>2</sup>. La demanda de refrigeración se estima en 180 W/m<sup>2</sup>.
- Un gran número de unidades utilizan refrigerante R-22, que es una sustancia que agota la capa de ozono (SAO) y con un PCG igual a 1.810.

- De acuerdo con el Protocolo de Montreal (1987), existe un calendario de eliminación para R-22. Los 197 países miembros de las Naciones Unidas están eliminando gradualmente la producción e importación de sustancias que agotan la capa de ozono, incluido el R-22, en virtud del Protocolo de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono. Por ejemplo, los países de la Comunidad Europea tienen una prohibición total a partir de 2015 y, a partir del 1 de enero de 2020, la producción e importación de refrigerante R-22 será ilegal en los Estados Unidos.
- Las unidades restantes instaladas utilizan refrigerante R-410A, que es una mezcla de HFC con un valor de PCG alto = 2.088.
- La edad promedio de las unidades instaladas es más de 10 años.

### **3.3.3 Casa SAF**

- Cuenta con un total de 13 unidades de aires acondicionado tipo casete y VRV/VRF, con una capacidad total de 75 kW (21 TR)
- El espacio total con aire acondicionado es de aproximadamente 200 m<sup>2</sup>. La demanda de refrigeración se estima en 375 W/m<sup>2</sup>.
- Excepto por una unidad, las unidades instaladas utilizan refrigerante R-410A, que es una mezcla de HFC con un valor PCG alto = 2.088.
- La antigüedad promedio de las unidades instaladas es de 5 años.
- Este edificio, con una demanda de refrigeración relativamente baja, probablemente no sea adecuado incorporarlo en el diseño del DF debido al alto costo de conversión.

### **3.3.4 CDCS**

- Cuenta con un total de 12 unidades de aires acondicionado tipo split, y multi-split, con una capacidad total de 80 kW (23 TR).
- El espacio total con aire acondicionado es de aproximadamente 700 m<sup>2</sup>. La demanda de refrigeración se estima en 115 W/m<sup>2</sup>.
- Un gran número de unidades utilizan refrigerante R-22, que es una sustancia que agota la capa de ozono y con un PCG igual a 1.810.
- Las unidades restantes instaladas utilizan refrigerante R-410A, que es una mezcla de HFC con un valor de PCG alto = 2.088.
- Este edificio con una demanda de refrigeración bastante baja probablemente no sea adecuado para la centralización debido al alto costo de conversión.

### **3.3.5 Edificio CENTRAL JMDO**

- Cuenta con más de 200 unidades de aires acondicionado tipo split, multisplit, VRF / VRV y ductos, con una capacidad total de 1.220 kW (350 TR)
- El espacio total con aire acondicionado es de aproximadamente 5.540 m<sup>2</sup>. La demanda de refrigeración se estima en 220 W/m<sup>2</sup>.

- Un gran número de unidades utilizan refrigerante R-22, que es una sustancia que agota la capa de ozono y con un PCG igual a 1.810.
- Las unidades restantes instaladas utilizan refrigerante R-410A, que es una mezcla de HFC con un valor de PCG alto = 2.088.
- La antigüedad promedio de las unidades instaladas es de 10 años para equipos individuales y de 5 años en sistemas VRV.

### **3.3.6 Edificio DIPOA**

- Cuenta con aproximadamente 220 unidades de aires acondicionado tipo casete y VRV/VRF, con una capacidad total de 2.030 kW (580 TR).
- El espacio total con aire acondicionado es de aproximadamente 9.700 m<sup>2</sup>. La demanda de refrigeración se estima en 210 W/m<sup>2</sup>.
- Todas las unidades instaladas utilizan refrigerante R-410A, que es una mezcla de HFC con un valor PCG alto = 2.088.
- La antigüedad media de las unidades instaladas es superior a 3 años.

### **3.3.7 Edificación Ingeniería y Construcción**

- Cuenta con aproximadamente 20 unidades de tipo casete o minisplit correspondientes a una capacidad total de aproximadamente 105 kW (30 TR).
- El espacio total con aire acondicionado es de aproximadamente 500 m<sup>2</sup>. La demanda de refrigeración se estima en 210 W/m<sup>2</sup>.
- La antigüedad promedio de las unidades instaladas es superior a 10 años.
- Todas las unidades instaladas utilizan refrigerante R-22, que es una sustancia que agota la capa de ozono y con un PCG igual a 1.810.

### **3.3.8 Edificio MUSEO**

- Cuenta con más de 40 unidades de tipo minisplit, casete y sistemas VRF / VRV correspondientes a una capacidad total de aproximadamente 215 kW (61 TR).
- El espacio total con aire acondicionado es de aproximadamente 915 m<sup>2</sup>. La demanda de refrigeración se estima en 235 W/m<sup>2</sup>.
- La mayoría de las unidades instaladas utilizan refrigerante R-410A, que es una mezcla de HFC con un alto valor de PCG = 2.088.
- Una pequeña cantidad de unidades utilizan refrigerante R-22, que es una sustancia que agota la capa de ozono y con un PCG igual a 1.810.
- La edad promedio de las unidades instaladas más de 10 años.

### 3.3.9 Bloque C (edificio PROVEEDURÍA)

- Cuenta con más de 50 sistemas tipo split, multisplit y casete, correspondientes a una capacidad total de aproximadamente 415 kW (118 TR).
- El espacio total con aire acondicionado es de aproximadamente 1.540 m<sup>2</sup>. La demanda de refrigeración se estima en 270 W/m<sup>2</sup>.
- Centro de datos / servidores instalados.
- Excepto por una unidad, las unidades instaladas utilizan refrigerante R-22, con un PCG igual a 1.810.
- La edad promedio de las unidades instaladas más de 10 años.

### 3.4 Evaluación detallada de demandas de frío

Como se puede observar, en la información recopilada, la configuración para climatización existente complica la obtención de las demandas reales de frío de los edificios. Por este motivo, se han realizado simulaciones dinámicas detalladas para cada uno de los edificios del ICE para evaluar qué demanda de frío real existe en los mismos, que podríamos satisfacer con la red de frío.

#### 3.4.1 Herramienta de modelado dinámico

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, ha sido necesario modelar el distrito de forma detallada con algunos de los edificios que se conectarán a la red. Para realizar dicha tarea se ha utilizado la herramienta de simulación dinámica herramienta “Design Builder”, basada en el motor de cálculo de “Energy+”, del Departamento de Energía del Gobierno de Estados Unidos de América. Dicha herramienta permite el modelado y la simulación energética de cualquier sistema energético (un edificio, por ejemplo) durante un periodo de tiempo determinado, que en este caso ha sido definido como un año natural, con resultados a nivel horario para todo el año y todas las variables analizadas. “Design Builder” permite la generación de modelos multi-zona en los que las diferentes zonas térmicas no se toman como sistemas aislados, sino que se tienen en cuenta los flujos de energía y masa entre dichas zonas.

Sin embargo, cuando se trabaja a escala de distrito, se modelan los edificios a nivel de tipologías o arquetipos, ya que los resultados no se utilizarán para optimizar de manera detallada el comportamiento energético individual de cada edificio (la volumetría, los cerramientos, la inercia térmica, elementos de sombreado, instalaciones de distribución de energía, etc.), sino para generar unas demandas energéticas fiables, a nivel de balance anual y a nivel de carga instantánea. En este caso, se ha optado por utilizar un modelo uni-zona. A nivel de detalle, los modelos de simulación de edificios desarrollados requieren, esencialmente:

- Datos meteorológicos de entrada
- Geometría del edificio
- Características constructivas
- Parámetros de climatización del edificio (operación y control)
- Datos relativos al uso - comportamiento del usuario y ganancias internas

A continuación, se detallan todas las consideraciones realizadas en cada uno de los puntos anteriores.

### 3.4.2 Datos meteorológicos

Los modelos energéticos de edificios de “Design Builder” utilizan datos meteorológicos para reproducir las condiciones ambientales exteriores. Los datos meteorológicos se obtienen de estaciones ubicadas en zonas cercanas a la posición de los edificios o se pueden obtener mediante la interpolación de dichas estaciones meteorológicas, en caso de que ninguna sea suficientemente representativa. En el caso de estudio, se ha utilizado un año meteorológico sintético, generado mediante el software “METEONORM 7” a partir de los datos de la localidad del aeropuerto de San José, que es la más cercana disponible en las bases de datos de “METEONORM 7” y la más representativa, entre las disponibles, para el ámbito de Sabana Norte. “METEONORM 7” genera años sintéticos teniendo en cuenta el historial de variables meteorológicas de estaciones cercanas a la posición deseada de los últimos 20 años.

No obstante, los años meteorológicos tipo no se basan en valores promedios, sino que incorporan eventos extremos, para tener en cuenta el efecto que los mismos pueden tener sobre la carga térmica de los edificios.

Asimismo, “METEONORM 7” también permite realizar el pronóstico de las condiciones meteorológicas considerando los efectos del cambio climático, de acuerdo a las previsiones del IPCC a 20 años vista. Este tipo de análisis es extremadamente interesante para evaluar riesgos en proyectos a largo plazo, que tienen costos de inversión elevados y con expectativas de recuperar a futuro. En el caso de los Distritos de Frío estos análisis nos permiten identificar eventuales riesgos debido a la variación de las demandas y/o capacidades de esta infraestructura, y si es oportuno, proponer ajustes en el diseño del sistema. Sin embargo, al tratarse de una fase inicial del proyecto, en este estudio no procede entrar en evaluación de riesgos de este tipo no de realizar optimizaciones correspondientes.

### 3.4.3 Consideraciones de diseño

A la hora de modelar los edificios, se consideraron los siguientes parámetros de operación y características constructivas de los edificios:

Tabla 1: Hipótesis generales simulación

Control ambiental			General	Cargas internas			
<b>Temperatura</b>	T calefacción	$^{\circ}C$	20	<b>Uso edificio</b>		Oficina	
	T refrigeración	$^{\circ}C$	24	<b>Ocupación</b>	Horario	7-19h (lun-vie)	
<b>Humedad</b>	HR	%	40-60		<u>Q-Sensible</u>	W/p	70
					<u>Q-Latente</u>	W/p	70
<b>Ventilación</b>	Caudal	$l/s \cdot p$	12,5		Densidad	$p/m^2$	0,06
	RC		No	<b>Aparatos</b>	Horario		7-19h (lun-vie)
	Free cooling		-		<u>Q-Sensible</u>	W/m <sup>2</sup> K	11
	Infiltraciones	ren/h	1,5	<b>Iluminación</b>	Horario		7-19h (lun-vie)
					<u>Q-Sensible</u>	W/m <sup>2</sup> K	12
					<u>Q-Sensible</u>	W/m <sup>2</sup> K	11
					VEEI <u>límit</u>	W/m <sup>2</sup> ·100lux	5
				<b>HVAC</b>	Horario		7-19h (lun-vie)

### Cerramientos

<b>Muro exterior</b>	$W/m^2K$	3,17	<b>Aberturas</b>			
<b>Cubierta</b>	$W/m^2K$	1,34	<b>Ventanales</b>	U global	$W/m^2K$	3,83
<b>Losa (división entre plantas)</b>	$W/m^2K$	2,63		g vidrio	coef.	0,5
<b>Solera</b>	$W/m^2K$	1,15				

Edificio	DIPOA	JMDO	Bloque A	Bloque B	Bloque C	IC	FGA
Acristalamiento	50%	50%	25%	25%	ventana corrida de 1.5m	35%/25 %	25%
<b>Protección solar exterior fija</b>	Lamas horizonta les fijas (1,5m)	Lamas horizontal es fijas (1,5m)	Voladizo cubierta (0,5m)	Voladizo cubierta (0,5m)	Voladizo cubierta (2m)	Voladiz o cubiert a (2m)	

### 3.4.4 Detalle de simulación edificio DIPOA

Edificios		DIPOA
<b>General</b>		
Superficie construida	$m^2$	16 117
Ocupación	$p$	712
Año construcción	$año$	2017
Numero de plantas habitables	$n^o$	PB+5
Altura entres plantas	$m$	4

Doc word  
 PDFs (Planos)  
 Propio

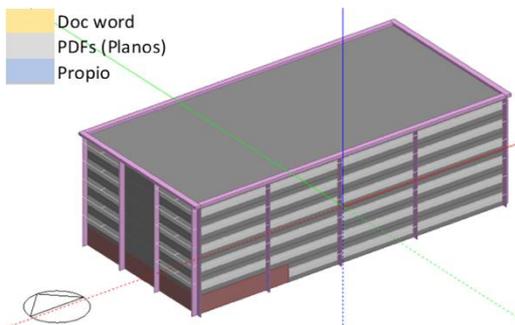


Gráfico 9 : Datos generales edificio DIPOA, (colores indican la fuente de información: amarillo -documento word facilitado por ICE, gris -planos facilitados por ICE, azul – hipótesis propia), imagen del modelo " DesignBuilder", imagen del edificio proporcionada por ICE

### 3.4.5 Edificio JMDO (Jorge Manuel Dengo Obregón)

General	Edificios	JMDO
Superficie construida	m <sup>2</sup>	22 774
Ocupación	p	1300
Año construcción	año	1972
Numero de plantas habitables	nº	PB+14
Altura entres plantas	m	4.5 / 3.5

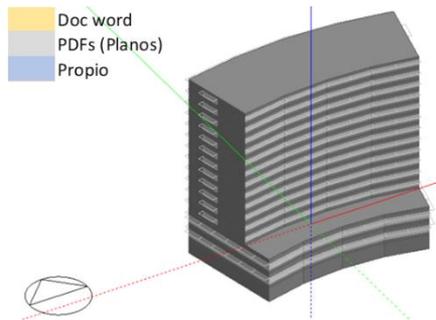


Gráfico 10 : Datos generales edificio JMDO, (colores indican la fuente de información: amarillo -documento word facilitado por ICE, gris -planos facilitados por ICE, azul – hipótesis propia), imagen del modelo” DesignBuilder”, imagen del edificio proporcionada por ICE

### 3.4.6 Edificio Bloque A

General	Edificios	Bloque A
Superficie construida	m <sup>2</sup>	5 346
Ocupación	p	360
Año construcción	año	-
Numero de plantas habitables	nº	PB+2
Altura entres plantas	m	3.5

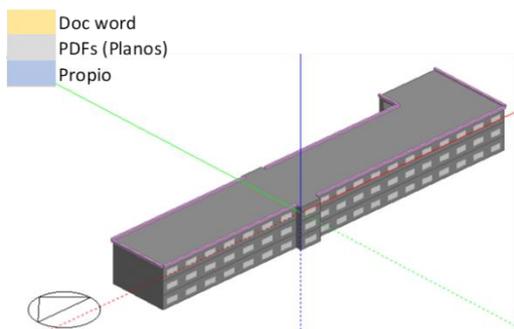


Gráfico 11 : Datos generales edificio bloque A, (colores indican la fuente de información: amarillo -documento word facilitado por ICE, gris -planos facilitados por ICE, azul – hipótesis propia), imagen del modelo” DesignBuilder”, imagen del edificio proporcionada por ICE

### 3.4.7 Edificio Bloque B

	Edificios	Bloque B
<b>General</b>		
Superficie construida	<i>m2</i>	4 273
Ocupación	<i>p</i>	234
Año construcción	<i>año</i>	-
Numero de plantas habitables	<i>nº</i>	PB+2
Altura entres plantas	<i>m</i>	3.5

- Doc word
- PDFs (Planos)
- Propio

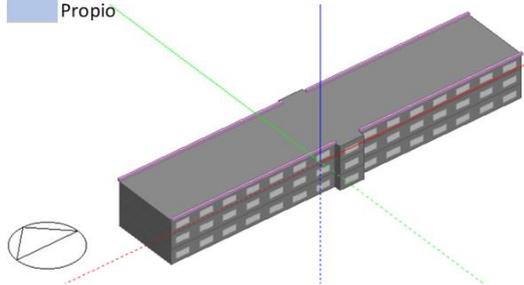


Gráfico 12 : Datos generales edificio bloque B, (colores indican la fuente de información: amarillo -documento word facilitado por ICE, gris -planos facilitados por ICE, azul – hipótesis propia), imagen del modelo "DesignBuilder", imagen del edificio proporcionada por ICE

### 3.4.8 Edificio Bloque C

	Edificios	Bloque C
<b>General</b>		
Superficie construida	<i>m2</i>	2 026
Ocupación	<i>p</i>	101
Año construcción	<i>año</i>	-
Numero de plantas habitables	<i>nº</i>	PB
Altura entres plantas	<i>m</i>	4.5

- Doc word
- PDFs (Planos)
- Propio

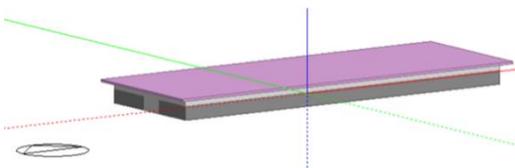


Gráfico 13 : Datos generales edificio bloque C, (colores indican la fuente de información: amarillo -documento word facilitado por ICE, gris -planos facilitados por ICE, azul – hipótesis propia), imagen del modelo "DesignBuilder", imagen del edificio proporcionada por ICE

### 3.4.9 Edificio IC (Ingeniería y Construcción)

General	Edificios	IC
Superficie construida	m <sup>2</sup>	6 168
Ocupación	p	235
Año construcción	año	-
Numero de plantas habitables	nº	PB+2
Altura entres plantas	m	3.5

- Doc word
- PDFs (Planos)
- Propio

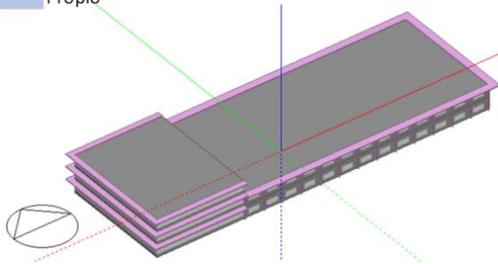


Gráfico 14 : Datos generales edificio IC, (colores indican la fuente de información: amarillo -documento word facilitado por ICE, gris -planos facilitados por ICE, azul – hipótesis propia), imagen del modelo “DesignBuilder”, imagen del edificio proporcionada por ICE.

### 3.4.10 Edificio museo FGA (Museo-Fondo de Ahorro y Garantía)

General	Edificios	FGA
Superficie construida	m <sup>2</sup>	-
Ocupación	p	80
Año construcción	año	<1990
Numero de plantas habitables	nº	PB+1
Altura entres plantas	m	4.5 / 3.5

- Doc word
- PDFs (Planos)
- Propio

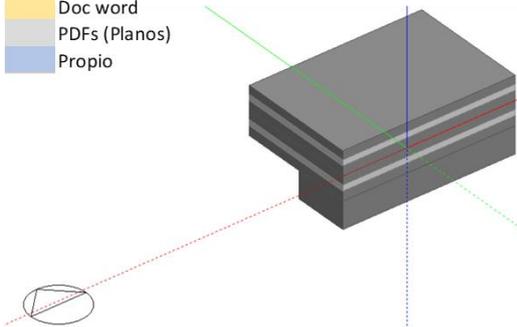


Gráfico 15 : Datos generales edificio FGA, (colores indican la fuente de información: amarillo -documento word facilitado por ICE, gris -planos facilitados por ICE, azul – hipótesis propia), imagen del modelo “DesignBuilder”, imagen del edificio proporcionada por ICE

### 3.5 Demandas de climatización

Se ha aplicado un coeficiente (superficie construida/superficie climatizada) para equiparar los resultados a la climatización de espacios ocupados.



Gráfico 16 : Resultados de simulación: demanda de frío anual por edificios y por m<sup>2</sup>

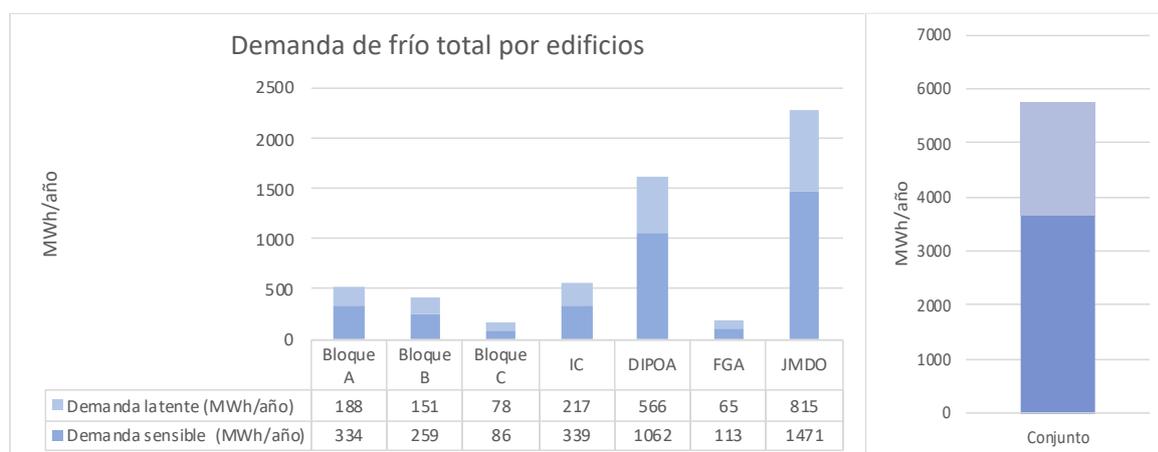


Gráfico 17 : Resultados de simulación: demanda anual total por edificios y para el conjunto de edificios

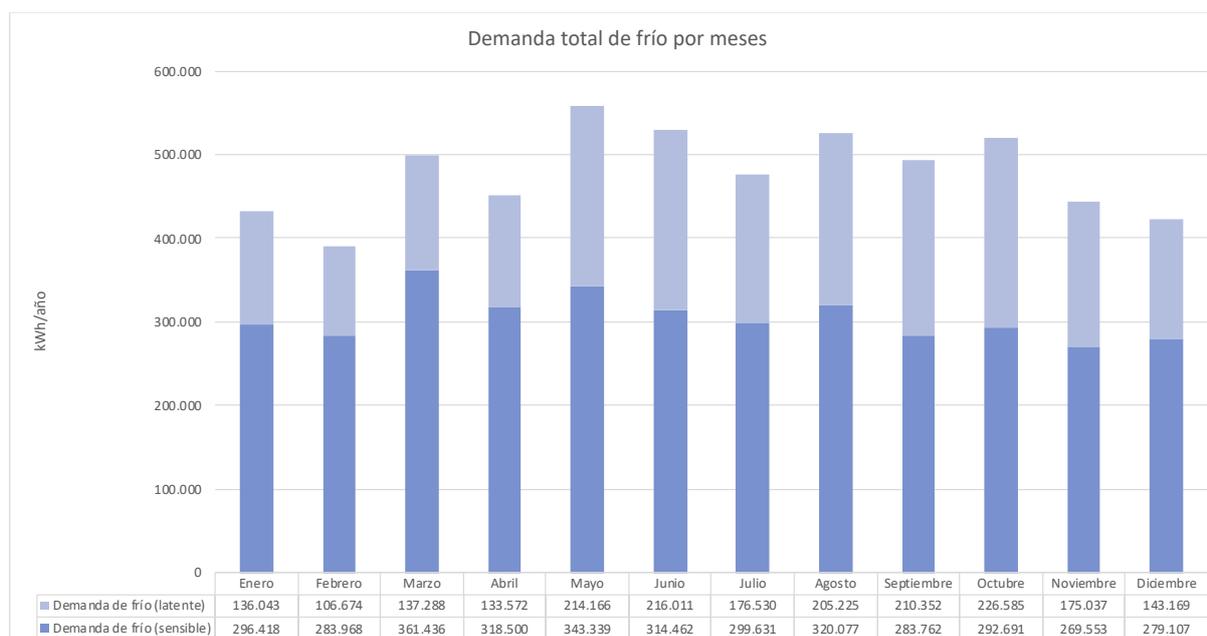


Gráfico 18 : Resultados de simulación: demanda mensual total por edificios y para el conjunto de edificios

### 3.6 Resultados finales

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de simulación para los edificios del ICE. Se puede observar que la capacidad total de refrigeración asciende a 2,86 MW, con un consumo de frío de 5,74 GWh al año. Las capacidades necesarias van de unos 76 kW en el edificio de FGA, hasta los 783 o 1.106 kW en los edificios de DIPOA o JMDO, respectivamente. De aquí se concluye que los edificios “ancla” son estos dos últimos. A la hora de hacer hipótesis sobre la conexión de diferentes edificios, que tiene impacto sobre los indicadores financieros, se establece que los edificios más cercanos a la ubicación de la central se conectan en el año 1, mientras que el edificio JMDO, que es el más alejado con diferencia, se conecta un año más tarde. Esta hipótesis no afecta de forma sustancial los resultados y se puede replantear.

Tabla 2: Resumen demandas-potencias

Edificio	Conexión	Capacidad de refrigeración	Demanda de refrigeración	Duración /horas equivalentes
	Año	kW	kWh	horas
Edificio IC	1	284	556.200	1.958
Edificio C	1	125	163.700	1.310
Edificio A	1	274	522.200	1.906
Edificio B	1	216	409.400	1.895
Edificio FGA	1	76	178.500	2.349
Edificio DIPOA	1	783	1.627.600	2.079
Edificio JMDO	2	1.106	2.286.000	2.067
Total		2.864	5.743.600	2.005

### 3.7 Monótonas de demanda

La monótona de demanda (*load duration curve*) nos explica las horas acumulativas a las que se demanda una determinada potencia en la red. Nos servirá para poder diseñar de manera adecuada, la red de enfriamiento urbano y la potencia de los sistemas de generación, así como la evolución del crecimiento de la red. En la gráfica abajo se presenta la monótona del conjunto de los siete edificios (azul oscuro) y del mismo conjunto menos el edificio JMDO, para poder visualizar un eventual desarrollo en dos fases.

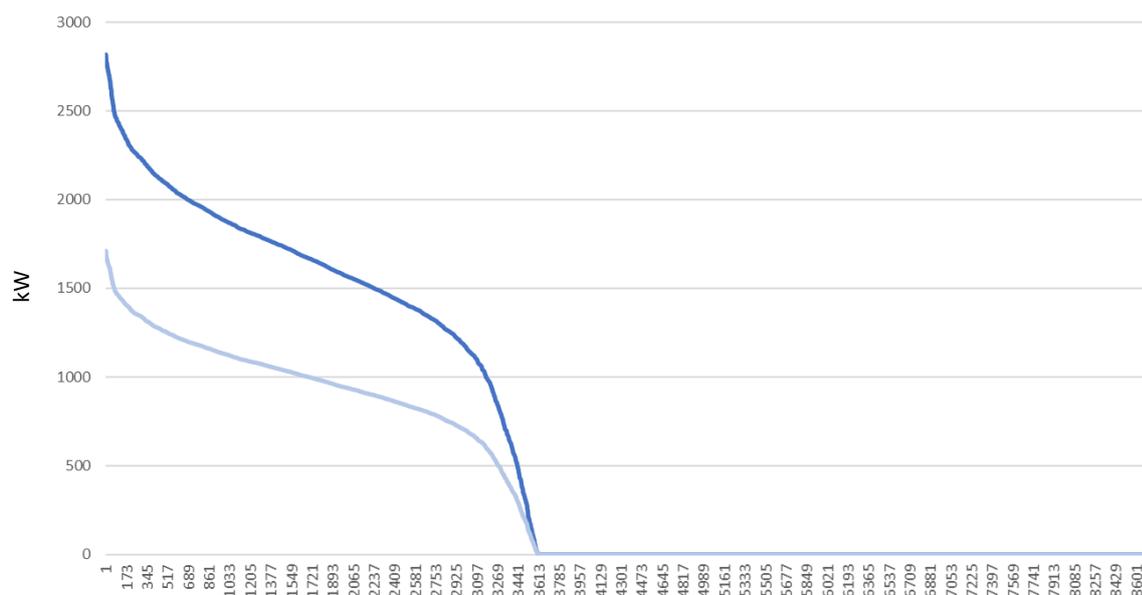


Gráfico 19: Curvas monótonas de demanda de frío del conjunto de los siete edificios (azul oscuro) y del mismo conjunto menos el edificio JMDO

### 3.8 Capacidad de edificios para la conversión a DF

La facilidad para cambiar al sistema de Distritos de Frío depende en gran medida del sistema existente de aire acondicionado instalado por los clientes potenciales, a veces en combinación con la vida técnica útil restante de dichos sistemas instalados.

Una barrera para la introducción de un Distrito de Frío y para la eliminación gradual los refrigerantes nocivos para el clima es el uso de "sistemas split", sistemas "multi-split" de BAU o VRV / VRF ("sistemas de flujo de refrigerante variable / volumen de refrigerante variable) en edificios existentes y proyectos urbanos. La razón es que en edificios con estos tipos de soluciones no hay un sistema interno de distribución de agua helada o sistemas de distribución de aire enfriado, por ductos, que pueda proporcionar un punto de conexión para el Distrito de Frío.

Uno de los elementos clave, pues, en las redes de Distrito de Frío en entornos existentes es la necesidad de adaptación que se necesita realizar a la hora de integrar sistemas de frío a los edificios actuales. En muchos de los casos, esto nos obliga a repensar completamente la red de distribución interior o a rehacerla de cero.

Se debe maximizar el salto térmico entre impulsión y retorno de la distribución hidráulica de agua helada interior de los edificios a conectar a la red de distrito. Por ese motivo, es clave considerar sistemas eficientes de control y regulación. Los cuales se describen gráficamente a continuación:

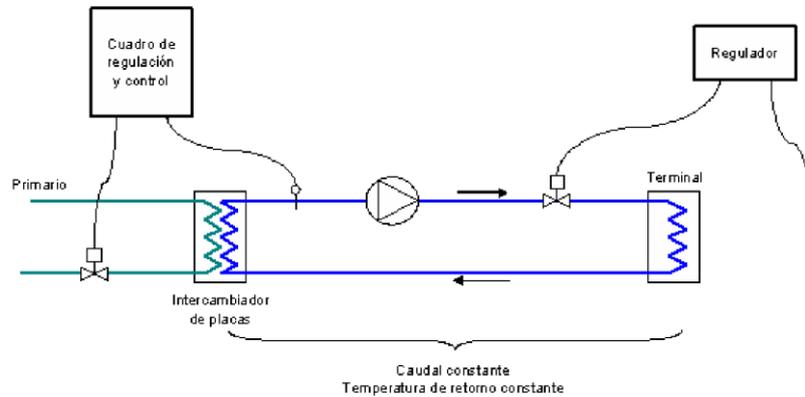


Gráfico 20 : Esquema de conexión con un solo terminal

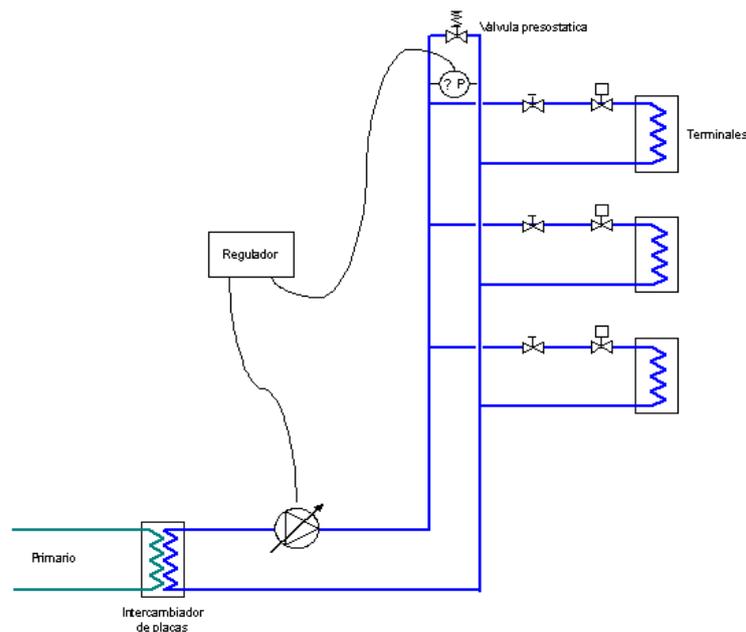


Gráfico 21 : Esquema de conexión con distintos elementos interiores

Dentro del sistema de distribución de agua helada en el interior de los edificios, es de gran importancia la estructura operacional de los equipos de bombeo. En el primer esquema a continuación se puede observar un tipo de conexión que incluye un elemento donde se produce la mezcla de la distribución y del retorno del circuito secundario, cosa indeseable ya que nos reduce el salto térmico en la ETS, mientras que dos esquemas a continuación son los correctos.

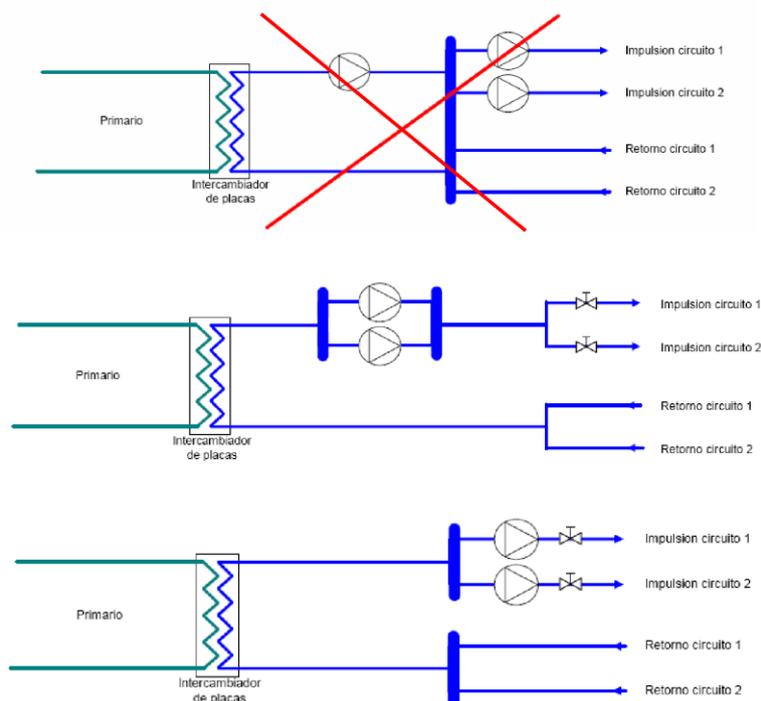


Gráfico 22 : Esquemas posibles y no posibles de secundarios de edificio

Los costos necesarios para la adecuación de los edificios existentes del ICE, para poder conectarlos a la red de distrito, se han analizado por los profesionales del ICE. Los valores procedentes de los datos facilitados por los profesionales del ICE se han interpretado en el contexto de un sistema de climatización centralizada a nivel de edificio o Distrito de Frío. A modo de verificación de la robustez de esta valoración, los resultados se han contrastado con valores de referencia de experiencias internacionales de las bases de datos de DEVCCO. El costo total medio es de 149 \$/m<sup>2</sup> de espacio útil, aunque varía ligeramente de edificio en edificio ya que sus demandas de capacidad instalada varían. El procedimiento de interpretación de la información y los ajustes aplicados se exponen en el anexo 1.

Dentro de la adecuación de edificios se incorpora la opción de integrar la distribución de agua helada mediante un circuito secundario dentro de cada edificio, unas unidades terminales, y además unas UMAs centralizadas. Con estas últimas se mejoraría de manera significativa la calidad de aire y el confort de los usuarios.

### 3.9 Proyección de la evolución de la demanda de frío

Al convertir cada uno de los sistemas de construcción y conectarlos a un sistema de Distrito de Frío, el esquema de expansión del mercado se estima de la siguiente manera:

Tabla 3: Progresión anual demanda de frío

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Capacidad de enfriamiento, kW	1.758	2.864	2.864	2.864	2.864
Demanda de enfriamiento kWh	3.457.600	5.743.600	5.743.600	5.743.600	5.743.600

Bajo el escenario de una red institucional, limitada a los edificios existentes del complejo de oficinas, una vez conectados todos estos edificios no se proyecta ningún tipo de crecimiento de la demanda. El aumento puede darse si el ICE construye algún edificio nuevo, amplía las superficies climatizadas en los edificios existentes o decide ofrecer el suministro de climatización a edificios cercanos que sean propiedad de terceros.

## 4 Arquitectura del Sistema y opciones tecnológicas

Los principales beneficios de los sistemas de Distritos de Frío son la flexibilidad para operar con una multitud de fuentes de energía, inclusive fuentes no gestionables, y tecnologías de producción probadas, que proporcionan ventajas en términos de eficiencia energética, reducción de uso de sustancias agotadoras de ozono, y ahorros económicos. La elaboración de la arquitectura del sistema y la identificación de opciones tecnológicas para un determinado distrito o área también demanda tener en cuenta las condiciones locales y los planes existentes o nuevos para otros desarrollos de infraestructura. El estudio incluye un análisis aproximado de diferentes escenarios posibles para el abastecimiento, producción centralizada y distribución de agua helada.

### 4.1 Arquitecturas del Sistema

Las opciones tecnológicas para un sistema de refrigeración de distrito son varias. En esta sección, hemos dividido el sistema de Distritos de Frío en tres partes diferentes, cada una de las cuales tiene sus propias consideraciones:

- Producción
- Distribución
- Estaciones de transferencia de energía (ETS) o subestaciones

Desde el punto de vista de la arquitectura del sistema, diferentes opciones de producción son las más significativas a la hora de determinar los aspectos operativos de eficiencia energética y ambientales del sistema.

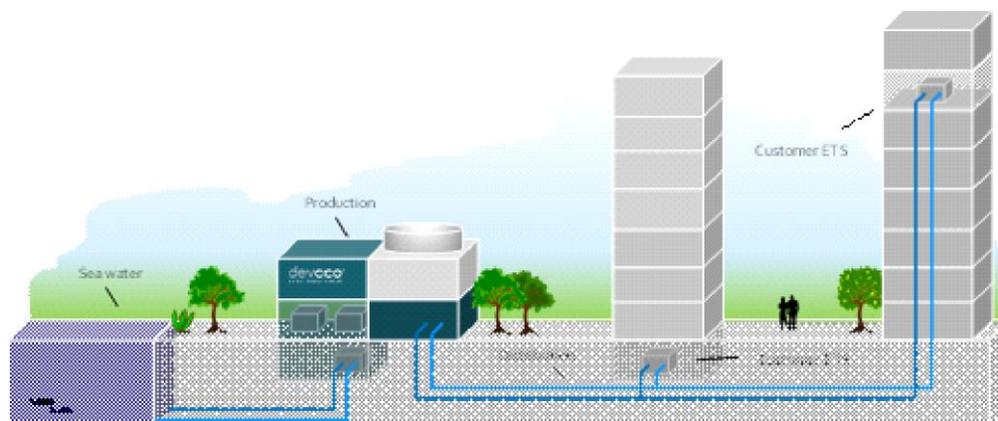


Gráfico 23: Esquema general de red de frío

### 4.2 Producción

Posibles modelos de producción, según las fuentes de las que se dispongan:

- Sistema de DF convencional
- Sistema de DF con enfriamiento gratuito con agua de mar profundo
- Sistema de DF híbrido

#### 4.2.1 Sistema de DF convencional

La producción convencional se define como la producción por enfriadoras de energía eléctrica enfriados por torres de enfriamiento abiertas. Dichos sistemas convencionales proporcionan refrigeración a una tasa más alta de eficiencia energética que los sistemas individuales de los edificios y los riesgos en ingeniería, construcción y operación son limitados.

Componentes principales:

- Edificio
- Enfriadoras
- Torres de enfriamiento

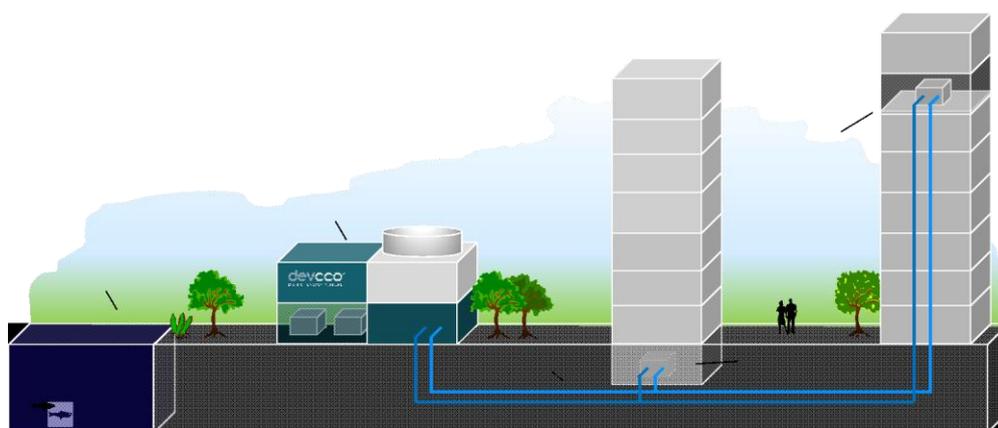


Gráfico 24 : Ilustración de un sistema de producción de Distrito de Frío convencional con enfriadoras y torres de enfriamiento

Hay algunos pros y contras del sistema que se pueden resumir de la siguiente forma:

- Ventajas: se aprovechan equipos estándares, convencionales.
- Desventajas: altos gastos de capital (CAPEX), altos gastos funcionamiento y mantenimiento, gran cantidad de refrigerantes, en ocasiones convencionales.

#### 4.2.2 Sistema de DF con enfriamiento gratuito con agua de mar profundo (SWAC)

La idea principal de enfriamiento gratuito con agua de mar profundo es utilizar agua de mar que sea lo suficientemente fría para suministrar un Distrito de Frío sin el uso de enfriadoras o reduciendo la necesidad de estas. Evidentemente, este tipo de sistemas no se puede aplicar en el caso que nos ocupa, pero se menciona ya que podría ser de interés en zonas costeras del país, donde el ICE u otra institución eventualmente podría tener interés de desarrollar otros Distritos de Frío en el futuro.

El principal beneficio de SWAC es la muy alta eficiencia energética que se puede obtener gracias a la utilización del enfriamiento natural del mar. Se seguirá necesitando electricidad principalmente para bombear el agua marina a través de tuberías e intercambiadores de calor.

En comparación con los sistemas convencionales, los costos de ingeniería y construcción de los sistemas SWAC son relativamente altos. Los sistemas SWAC son específicos del sitio por naturaleza porque los riesgos en ingeniería, construcción y operación también son más altos que para los sistemas convencionales.

Componentes principales:

- Edificio
- Sistema de agua de mar con estructura de toma, tuberías de toma y retorno, estructura de desagüe
- Bombas de agua de mar
- Intercambiadores de calor

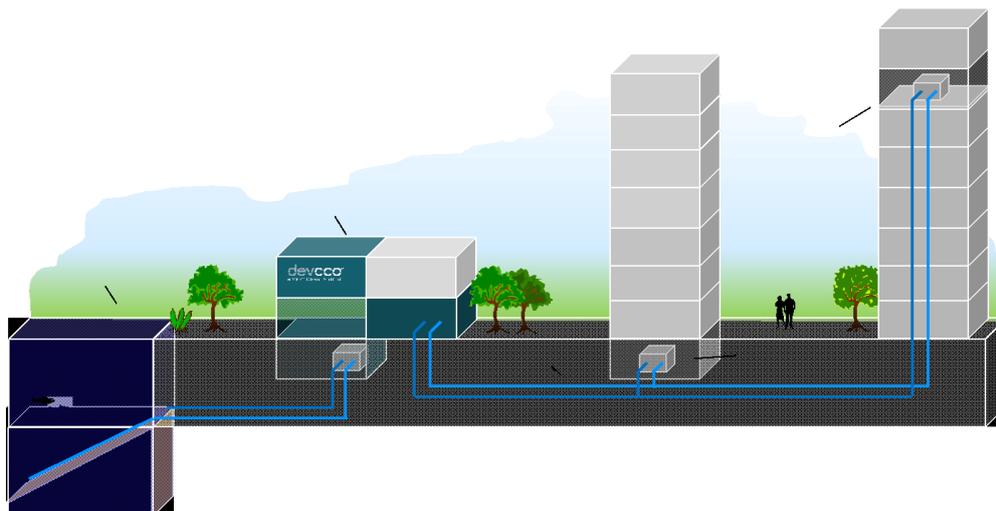


Gráfico 25 : Ilustración de un sistema de producción de Distrito de Frío tipo SWAC

Existen algunos pros y contras del sistema SWAC que se pueden resumir en:

- Ventajas: bajo coste operativo, poca o ninguna cantidad de refrigerantes
- Desventajas: Altos costes capitales, sobre todo de inversión inicial

#### 4.2.3 Sistema híbrido

El sistema híbrido es una versión del sistema convencional en la cual se utiliza agua como medio para disipar calor de las máquinas enfriadoras. El agua puede provenir de un río, lago o del mar de una profundidad menor y con una temperatura más alta que en el caso de los sistemas SWAC. De esta forma se puede mejorar la eficiencia de las enfriadoras. Una de las principales ventajas de un sistema híbrido es que las enfriadoras permiten asegurar la temperatura y la capacidad de suministro de Distrito de Frío a pesar de las fluctuaciones naturales de la temperatura del agua del río, lago o del mar. En la proximidad del ámbito estudiado se encuentra el río Torres, que podría ser apto para participar de un sistema de Distrito de Frío híbrido.

Si las fuentes de energía locales, como centrales eléctricas o industrias pesadas, generan exceso de calor, el sistema híbrido también podría consistir en aprovechar la tecnología de enfriamiento por absorción para fines de generación de frío. Este último tipo de fuentes no ha sido identificado en las cercanías de Sabana Norte.

Componentes principales:

- Edificio

- Sistema de agua de río con estructura de toma, tuberías de toma y retorno, estructura de desagüe
- Bombas de agua de río
- Intercambiadores de calor
- Enfriadoras eléctricas y / o enfriadoras de absorción.

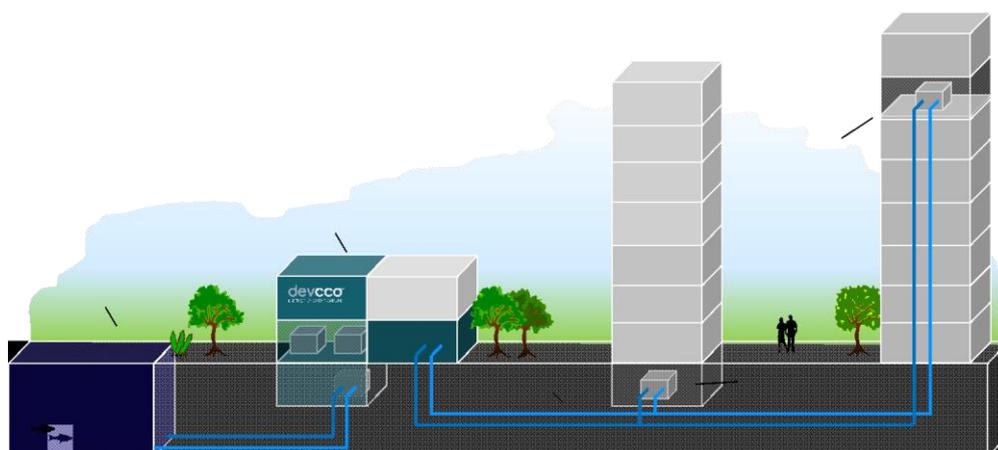


Gráfico 26 : Ilustración de un sistema híbrido con entrada de agua de río, lago o mar poco profunda para condensar las enfriadoras

Pros y contras de un sistema híbrido:

- Ventajas: coste operativo medio, cantidad media de refrigerantes
- Desventajas: Altos costos capitales

### 4.3 Arquitectura del sistema propuesto para el campus Sabana Norte de ICE

Con el esquema previsto de expansión del mercado, la planta de producción del Distrito de Frío totalmente consolidada tendría una capacidad instalada correspondiente a 2.800 kW.

Tabla 4 Potencia y demanda de enfriamiento

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Capacidad de enfriamiento, kW	1.758	2.864	2.864	2.864	2.864
Demanda de enfriamiento kWh	3.457.600	5.743.600	5.743.600	5.743.600	5.743.600
Factor de simultaneidad	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Suma capacidad de producción necesaria, kW	1.670	2.721	2.721	2.721	2.721

Se propone una central de Distrito de Frío para el complejo del ICE en Sabana Norte que constaría de la siguiente configuración:

- Dos enfriadoras eléctricas de carga base, con una capacidad de 700 kW cada una, con dos torres de enfriamiento separadas de 850kW respectivamente.
- Una enfriadora eléctrica de carga punta, unidad integrada refrigerada por aire con una capacidad de 800 kW.
- Un acumulador día/noche, preferiblemente ubicado junto al edificio JMDO con una capacidad de 600 kW. El acumulador se cargará durante la noche y se descargará durante el día, correspondiente a 4,8 MWh por carga. El volumen del tanque es de aproximadamente 750 m<sup>3</sup> con una altura de 15 m y un diámetro de 8 m.

Se ha considerado un factor de simultaneidad de demanda de frío entre los edificios de 0,95; resultante del análisis de la curva monótona de la demanda.

La central se propone ubicar en el extremo noroeste, según se indica en el gráfico 28, en un nuevo edificio de unos 150 m<sup>2</sup>. La planta de producción con su configuración tendrá el siguiente aspecto:

Tabla 5 Planta de producción y evolución

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Enfriadoras de base (kW)	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400
Acumulador equivalente (kW)		600	600	600	600
Enfriador de carga punta (kW)	800	800	800	800	800
Capacidad instalada (kW)	2.200	2.800	2.800	2.800	2.800

Para poder igualar el esquema de expansión del mercado previsto, las enfriadoras de base y la enfriadora de refrigeración por aire se instalarán en el año 1, mientras que se espera que el acumulador esté construido en el año 2.

La configuración general del sistema se ilustra a continuación:

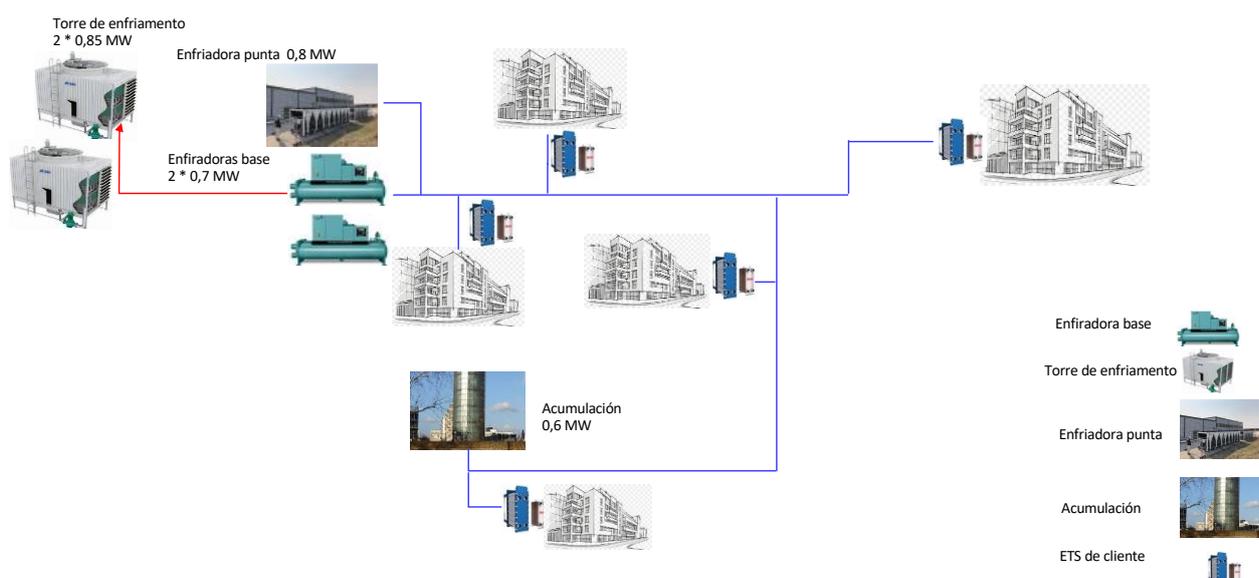


Gráfico 27: Representación esquemática del sistema del ICE

#### 4.4 Tipologías y necesidades de las centrales de producción de frío

En este apartado se realiza una descripción a nivel genérico de la tipología de centrales y su relación con el urbanismo, para dar una visión sobre las opciones que se presentan en el caso de Sabana Norte. En cuanto a la tipología podemos distinguir entre:

- Edificio en planta piso
  - Usualmente es la más económica y por esto la más habitual. Se suele dar en situaciones donde el terreno no es escaso o extremadamente costoso.
- Edificio en varias plantas
  - Se suele utilizar cuando el suelo es escaso y/o costoso. Normalmente se encuentra en zonas céntricas de las ciudades. El edificio de la central puede estar aislado de los edificios colindantes o entre medianeras.
- Edificio soterrado

Tiende a encarecer mucho los costos de construcción por lo que se utiliza únicamente en situaciones extremas de escasez del suelo. Esta tipología en ocasiones se construye debajo del espacio público. Esta tipología también se utiliza para alojar acumulación distribuida. En este caso a veces se aprovechan salas de máquinas en edificios existentes, o espacios dedicados en edificios nuevos, ubicadas en sótanos.

A continuación, se muestran algunas imágenes que ejemplifican estas tipologías.



*Gráfico 28: Central del área Expo, Zaragoza. Planta aislada, en las márgenes de la ciudad*



Gráfico 29: Central de frío y de Ámsterdam, en situación periurbana



Gráfico 30: Central Fórum del sistema 22@/Fórum, Barcelona. La central se ubica dentro de la topografía del parque público

#### 4.5 Red de distribución

El Distrito de Frío se distribuye a las consumidoras mediante un sistema de tuberías subterráneo de circuito cerrado que consta de tuberías de suministro y retorno que funcionan en paralelo. La tecnología más común para los sistemas de distribución es utilizar tuberías de acero pre aisladas, pero también se utilizan otras alternativas como las tuberías de polietileno.

Para continuar el trabajo con este estudio de prefactibilidad, el diseño del sistema se basará en tuberías pre aisladas EN253 con aislamiento estándar de la serie 1. Se espera que el nivel de temperatura de avance / retorno sea de 5 / 15°C, es decir,  $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$ .

- La presión máxima es de 16 bares, siguiendo el estándar en el diseño EN253.
- La pérdida máxima permitida de presión en la tubería es de 100 Pa/m.

- El aislamiento de las tuberías de Distrito de Frío permite incluir los cables de un sistema de vigilancia de fugas, fundamental para las futuras operaciones seguras.
- Las pérdidas de energía del sistema de tuberías de Distrito de Frío son muy bajas, debido a que las tuberías están bien aisladas, y debido a temperaturas del suelo próximas a la temperatura de distribución.

A continuación, se ilustra una sección de zanja típica de un sistema de distribución de doble tubería.

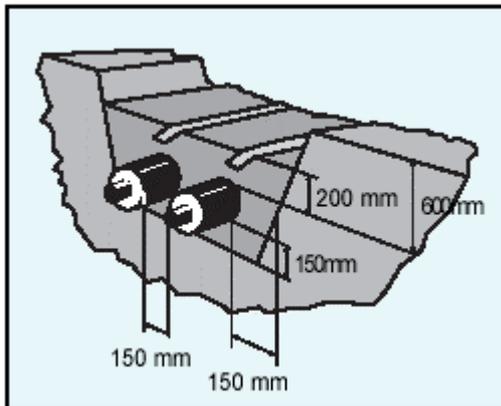


Gráfico 31 : Sección transversal para un par de tuberías de distribución DN 150.

Los costos de construcción dependen en gran medida del coste de la mano de obra y, en menor medida, del coste del material de la tubería. Por lo tanto, se pueden lograr grandes ahorros coordinando la construcción con otros servicios públicos.



Gráfico 32 : Construcción de tuberías de distribución preaisladas

El sistema de distribución para un sistema completamente construido está dimensionado para el total de siete edificios del ICE, y la dimensión de las tuberías para el sistema varía entre DN150 y DN350. La dimensión media de la tubería es DN300. También se dimensionan las tuberías de conexión de los edificios desde el sistema de distribución a cada edificio.

El límite de entrega para el servicio de Distrito de Frío se encuentra justo en la entrada del edificio del cliente antes de la estación de transferencia de energía que normalmente es propiedad del cliente, o asociado al edificio en el caso de Distritos de Frío institucionales como es el caso del ICE.

Se ha realizado una propuesta de la red, calculando los costes de la misma, teniendo en cuenta todas las partidas. Los costos asociados a tubería de alta calidad, de un fabricante de Dinamarca, se han solicitado a proveedores de la región, y los precios de obra civil (zanjas) y reposición del pavimento (asfalto) se han evaluado a partir de costos de diferentes proyectos en la región, facilitadas por ingenierías españolas con sede en Bogotá. Se han aplicado ajustes necesarios para incorporar diferencias de costos de vida de países de la región respecto a Costa Rica.

En el siguiente gráfico se muestra la topología considerada de la red.



Gráfico 33 : Planteamiento de la red de frío. Fuente de la imagen de base: Google Earth

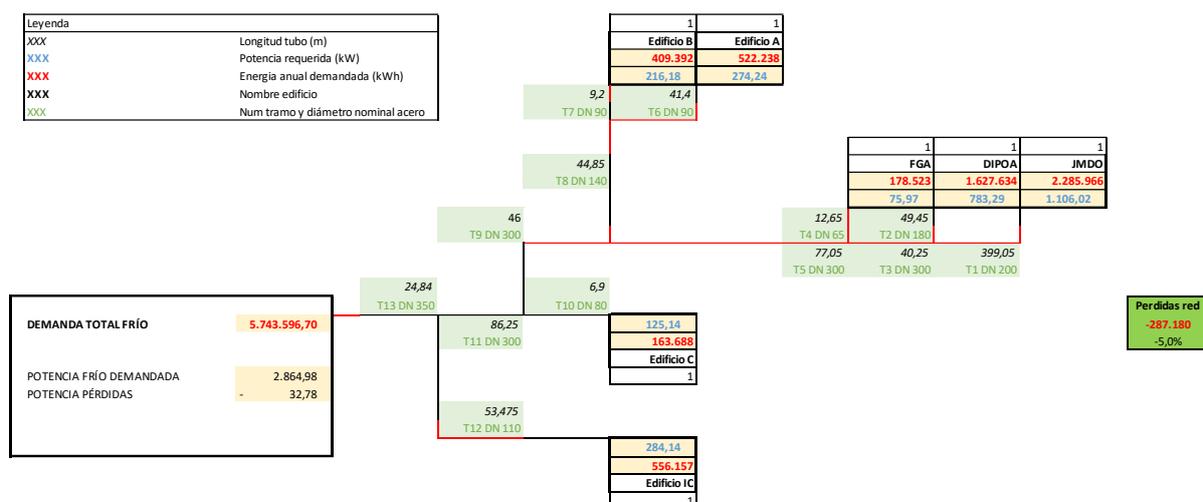


Gráfico 34 : Cálculo de diámetros para la red de frío

SUBESTACIONES	
UD. SUBESTACIÓ DE 783 kW. INCLOENT CONTROL, VALVULERIA, CONNEXIONS I POSADA EN MARXA	1,00
UD. SUBESTACIÓ DE 274 kW. INCLOENT CONTROL, VALVULERIA, CONNEXIONS I POSADA EN MARXA	1,00
UD. SUBESTACIÓ DE 216 kW. INCLOENT CONTROL, VALVULERIA, CONNEXIONS I POSADA EN MARXA	1,00
UD. SUBESTACIÓ DE 125 kW. INCLOENT CONTROL, VALVULERIA, CONNEXIONS I POSADA EN MARXA	1,00
UD. SUBESTACIÓ DE 75 kW. INCLOENT CONTROL, VALVULERIA, CONNEXIONS I POSADA EN MARXA	1,00
UD. SUBESTACIÓ DE 284 kW. INCLOENT CONTROL, VALVULERIA, CONNEXIONS I POSADA EN MARXA	1,00
UD. SUBESTACIÓ DE 1106 kW. INCLOENT CONTROL, VALVULERIA, CONNEXIONS I POSADA EN MARXA	1,00
<b>TOTAL SUBESTACIONES</b>	
OBRA CIVIL	
M2 OBRA CIVIL INCLUYENDO DEMOLICION DE PAVIMENTOS, EXCAVACIÓN, RELLENO, RETIRADA A VERTEDERO Y DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO	891,37
M3 EXCAVACIÓN DE ZANJA	2674,10
M3 RELLENO DE ARENA	802,23
M3 RELLENO DE ZANJA	802,23
M3 RETIRADA A VERTEDERO	1069,64
M2 RESTITUCIÓN DE PAVIMENTO	891,37
<b>TOTAL OBRA CIVIL</b>	
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE LOS MATERIALES	
ML TUBERÍAS PREAISLADAS CON PARTE PROPORCIONAL DE CONEXIONES, CODOS Y VALVULERÍA	1782,73
<b>TOTAL MATERIALES</b>	

Gráfico 35 : Listado y mediciones de elementos necesarios para la red de frío

## 4.6 Estaciones de transferencia de energía (ETS)

En la ETS la demanda de enfriamiento de la red de distribución se traslada al sistema interno del edificio. En general, hay dos principios alternativos principales para ETS:

- ETS de conexión indirecta mediante intercambiador de calor
- ETS de conexión directa, sin intercambiador

#### **4.6.1 ETS con Intercambiador de calor**

En la ETS conectado al intercambiador de calor, se instalan intercambiadores de calor para separar físicamente la red de distribución del sistema interno del edificio. La energía de refrigeración / calefacción del lado primario se transfiere al lado secundario a través del intercambiador de calor. El control de capacidad se lleva a cabo aumentando / disminuyendo el flujo en el lado primario.

Ventajas:

- Diferentes niveles de presión en el lado primario y secundario independientes entre sí. No se necesitan controles adicionales ni complicados.
- Alta seguridad: el mantenimiento y las reparaciones, gracias a que la intervención de un lado no influye en el otro.
- Una separación muy clara entre el lado primario y el secundario.
- Separar el agua en el sistema de DF y los sistemas de calefacción / refrigeración de los edificios.
- Reducir el riesgo de lodos y corrosión de las operaciones de los sistemas del edificio.
- En caso de que haya una fuga en el sistema de calefacción / refrigeración del edificio, el agua de DF seguirá intacta. No afecta a otros edificios conectados al sistema DF.

Desventajas:

- Se produce una pequeña pérdida de temperatura en el intercambiador de calor; la temperatura del lado primario debe compensarse para suministrar la temperatura solicitada en el lado secundario.
- El ensuciamiento del intercambiador de calor puede provocar pérdidas de capacidad.
- Costes de inversión adicionales para intercambiadores de calor.

#### **4.6.2 ETS de conexión directa**

En la ETS conectado directamente, implica la conexión directa entre los lados primario y secundario de forma que no están físicamente separados; por lo que la misma agua circula a través de la red de distribución y del sistema interno de los edificios. Las válvulas reductoras de presión en el ETS mantienen los dos niveles de presión diferentes en el lado primario frente al secundario. El control de capacidad se lleva a cabo mezclando el suministro y el agua de retorno en el lado secundario con la temperatura de punto de ajuste real.

Ventajas:

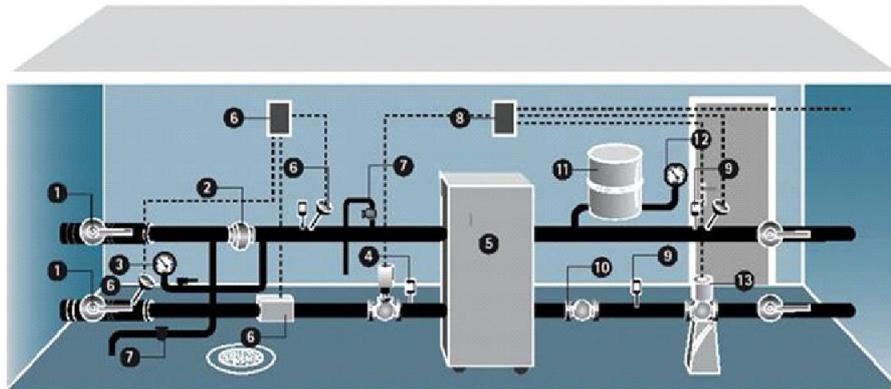
- Sin pérdidas térmicas, la misma temperatura que en el lado primario se puede distribuir en el lado secundario
- Sin riesgo de ensuciamiento en los intercambiadores de calor

Desventajas:

- Complicado para mantener los diferentes niveles de presión

- Los sistemas con conexión de edificios altos y bajos conducirán a niveles de alta presión innecesarios en los sistemas de edificios bajos.
- Sistema sensible; las fugas y pérdidas de agua serán difíciles de detectar.
- No se puede garantizar el control de la calidad del agua en el sistema.
- No hay una separación clara entre el lado primario y secundario.

A continuación, se presenta una descripción técnica de una ETS conectada mediante un intercambiador de calor:



*Distrito de Frío*

1. Válvula de cierre
2. Filtro
3. Manómetro
4. Termómetro

5. Intercambiador de calor
6. Sondas y Contadores
7. Purgas

*Circuito secundario – edificio*

8. Unidad de control
9. Termómetro
10. Filtro

11. Vaso de expansión
12. Manómetro
13. Bomba de circulación

Gráfico 36 : Descripción general de una ETS

#### 4.7 Opciones tecnológicas - fuentes

La opción más apropiada para este estudio parece ser un sistema de Distrito de Frío convencional como se describe en la sección 4.2.1.

Como es evidente, no hay acceso a fuentes de agua de mar profunda y, por lo tanto, un sistema SWAC no es una opción, pero parece ser que hay un río ubicado al norte del área de ICE llamado Río Torres.

##### 4.7.1 Agua del río

El uso del agua del río Torres como fuente de un sistema híbrido significa que las torres de enfriamiento podrían reemplazarse con un sistema de tuberías hasta el río. Este sistema de tuberías constaría de una estructura de entrada/salida, tuberías de entrada y retorno que se conectarían a las enfriadoras, para el intercambio de calor.

El río Torres se encuentra a unos 150 metros de distancia, en línea recta, de la ubicación propuesta para la central. El desnivel entre la central y el río es de aproximadamente 20 metros. La conexión del río con la central tendría que pasar por debajo de la Autopista General Cañas, por una excavación realizada mediante una hincia o una tuneladora (“topo”).

Cuando se trabaja como fuentes de agua del entorno natural para enfriar o refrigerar, la temperatura del agua disponible y sobre todo el caudal, son de especial interés. El rango de temperatura del Río Torres se desconoce, aunque hay indicios de estar en torno a unos 20-22°C, que es el rango de temperaturas medias mensuales del ambiente. Durante la realización del estudio no se ha podido encontrar la información sobre los caudales del río,

más allá de los caudales pico. El caudal pico observado, próximo a la zona de Sabana Norte, contando con el tiempo de retorno de 25 años es de 154,5 m<sup>3</sup>/s, según Alvarado García<sup>2</sup>. Este caudal es de tres órdenes de magnitud superior al que se necesitaría para enfriar el condensador de los equipos de Distrito de Frío. Si se opta por esta solución, el agua del río reemplazará las torres de enfriamiento.

Las enfriadoras de base tienen una capacidad total de 1.400 kW. Con un salto térmico del agua del río de 6°C, el flujo de condensador diseñado es de 70 litros por segundo, o 105 l/s con un salto térmico de 4°C. Si el caudal mínimo del río no baja de 1 m<sup>3</sup>/s, que parece plausible, el aumento de temperatura del río en torno a la salida del agua utilizada será menos de 1 grado Celsius, según una evaluación inicial. La conducción entre el río y la central de producción serán sin aislamiento, fomentando la disipación de calor del retorno antes de su desembocadura al río.

Dada la incertidumbre de los datos recibidos y la presencia de infraestructuras viarias importantes entre la planta de producción y el río hacen que esta opción sea interesante, pero necesita ser investigada más a fondo en términos de estudios técnicos y ambientales. En todo caso, en el presente estudio no se cuenta con esta alternativa. En las próximas fases de promoción de este piloto cabe profundizar sobre este aspecto y decidir si esta mejora de eficiencia energética resulta económicamente rentable.

#### **4.7.2 Electricidad**

El abastecimiento de electricidad para el Distrito de Frío es vital en términos de adquirir capacidad suficiente para las ubicaciones de producción y bombeo, pero desde una perspectiva amplia del sistema, en realidad es una cuestión de evitar la capacidad de producción de energía requerida. La cuestión fundamental es que, mediante la introducción de un Distrito de Frío energéticamente eficiente, en comparación con una producción de refrigeración individual por edificio, se requiere menos electricidad para fines de refrigeración y aire acondicionado. Además, también hay un ahorro sustancial debido a los requisitos de distribución de energía que se pueden evitar.

#### **4.7.3 Planta fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica en los últimos años supone una interesante oportunidad para ubicaciones con niveles significativos de radiación solar, debido a la bajada significativa de costes de las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo.

Además, en el caso de redes de frío, con consumos concentrados principalmente durante el día (horas que, a su vez, son las horas en las que se produce la máxima producción de energía solar), creando un matrimonio perfecto entre estas dos tecnologías.

La estructura que se propone se realizaría bajo un modelo de autoconsumo. El autoconsumo con conexión a red plantea una conexión continua con la red, pero permite que el consumo conectado pueda reducir sus requerimientos de suministro de la red eléctrica de manera significativa.

---

<sup>2</sup> Modelación hidrológica del río Torres, San José, Costa Rica y su variación con respecto al cambio climático- Virginia Alvarado García,

[http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9734/Modelacion\\_hidrologica\\_del\\_rio\\_Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9734/Modelacion_hidrologica_del_rio_Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

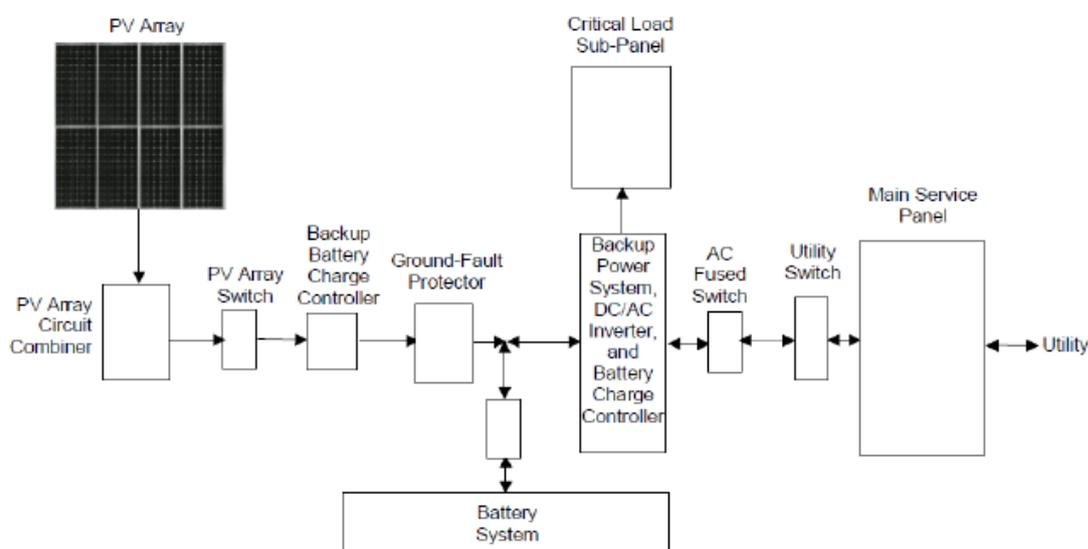


Gráfico 37 : Esquema de conexión de fotovoltaica en autoconsumo

A nivel de las superficies aptas, después de revisar en detalle la red de enfriamiento y los edificios que la componen, se han medido y calculado los siguientes valores:

Tabla 6: Dimensionado de la fotovoltaica en los edificios del ICE en Sabana Norte. "Cantina" se refiere a la cantina adosada al edificio DIPOA

	Edificio							
	Edificio A	Edificio B	Edificio C	Edificio IC	Edificio DIPOA	Edificio FGA	Edificio JMDO	Cantina
Superficie (m <sup>2</sup> )	1.660	1.339	2.150	2.819	1.908	569	1.264	1.400
Superficie de FV (m <sup>2</sup> )	830	670	1.075	1.410	954	284	632	700
Potencia FV pico instalable (kWp)	166	134	215	282	191	57	126	140
Producción (kWh/año)	238.063	192.038	308.306	404.249	273.536	81.523	181.304	200.760

De la tabla anterior se estima que se puede llegar a instalar unos 1,3 MWp de potencia fotovoltaica en las distintas cubiertas, considerando un factor de ocupación de las mismas de un 50%. Con esta potencia se puede producir hasta 2 GWh al año, una cantidad de electricidad muy superior al consumo eléctrico de la planta de enfriamiento y su bombeo.

De cara a optimizar las potencias eléctricas de producción en modo de autoconsumo, vemos que, a partir de un 30-45% de autoconsumo ya entramos en una situación en la que, por mucho que produzcamos de más, será para la exportación a la red eléctrica. Por lo tanto, optaremos por instalar el porcentaje que nos garantice un 35% del total, optando por un diseño conservador debido a la falta de uso de los edificios en fines de semana.

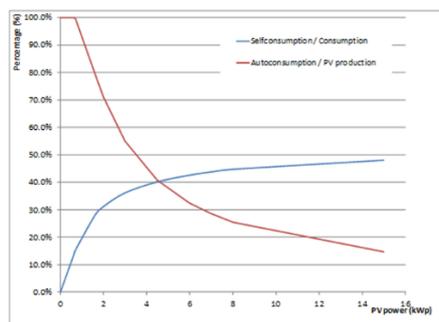


Gráfico 38: Esquema de óptimo de autoconsumo

Se puede observar que con 400 kWp se produce un total de 573.600 kWh anuales. Estos valores se han obtenido con la simulación detallada realizada con la herramienta de JPC “PV-GIS”, y separando el autoconsumo entre periodos de pico y fuera de pico.

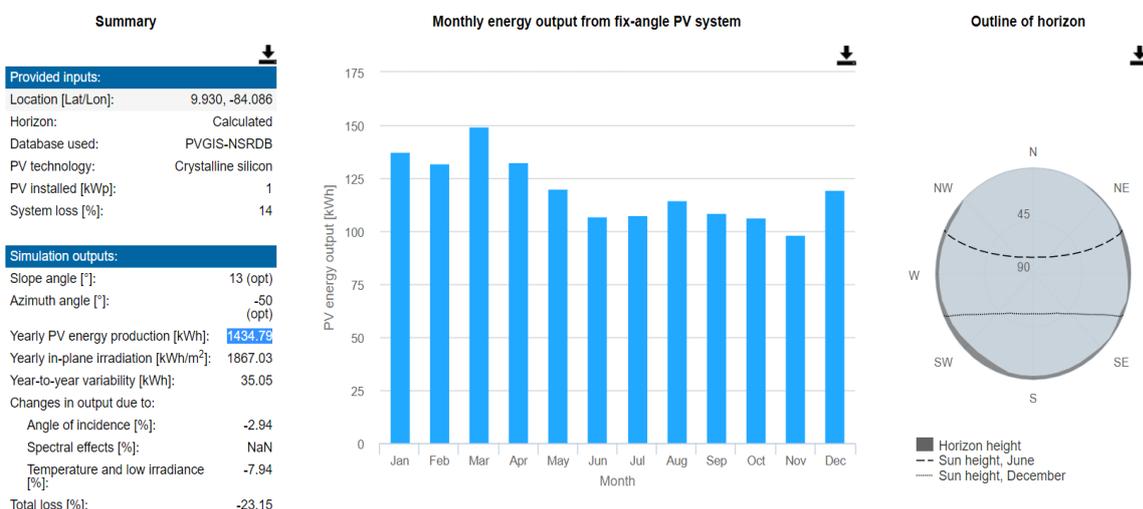


Gráfico 39: Cálculo de producción fotovoltaica en San José

## 5 Estimación aproximada de indicadores financieros y económicos

A continuación se exponen diferentes conceptos relacionados con el análisis financiero: estimación de inversiones, segregada por grandes partidas: central de producción, red de distribución y conversión de edificios, ahorros en costos de operación divididos entre: el ahorro por el aumento de eficiencia energética de equipos, el ahorro por el cambio de tarifa, el ahorro por el desplazamiento de consumo en periodo pico al periodo noche, y por operar con electricidad generada por la tecnología fotovoltaica. Finalmente se resaltan los costos evitados, para qué teniendo en cuenta todos estos calcular los indicadores financieros.

## 5.1 Inversión

El Distrito de Frío es un negocio intensivo en inversiones de capital ya que se requieren grandes inversiones para lograr aprovechar las ventajas de la economía a escala, incluida la capacidad de utilizar fuentes de energía naturales u otras fuentes de energía consideradas limpias, de nulo o muy bajo impacto ambiental. Las dos partes principales del sistema son la producción y la distribución, cada una de estas se puede dividir en subsistemas según sea necesario.

Para este estudio el CAPEX se ha dividido en los siguientes cuatro segmentos:

- Plantas de producción en el emplazamiento indicado
- Sistema de distribución
- Estación de transferencia de energía (ETS)
- Conversión de edificios.

No se ha considerado ningún costo por la utilización del suelo ante la eventual construcción de las centrales, ya que el proyecto se desarrollaría dentro del terreno de la institución.

Las inversiones referentes a la planta de producción, la red de distribución y las estaciones de transferencia de energía se valoran a partir de costos específicos por unidad de potencia, por metro lineal o por superficie. Estos costos específicos provienen de las bases de datos de DEVCCO, elaboradas a partir de proyectos internacionales del mismo tipo y magnitud. Los costos son referenciados a la capacidad de equipos principales, y los otros elementos más costosos, incluyen los costos prorrateados de componentes asociadas a estos equipos principales. Los equipos y componentes principales, como son las grandes máquinas enfriadoras, torres de enfriamiento, bombas de gran capacidad, tuberías pre aisladas, etc. son materiales de fabricantes Internacionales y su costo varían relativamente poco de un país a otro, con lo cual se consideran válidos a nivel de estudio de prefactibilidad. Algunos costos se han contrastado y ajustado según información recopilada en Costa Rica o en la región. Respecto a los costos relativos a la obra civil se han tenido en cuenta: costos de zanjas y de asfaltado de pavimentos proporcionados por los profesionales del ICE, así como Manual de valores base unitarios según la tipología constructiva<sup>3</sup>.

El desglose de CAPEX se muestra en la tabla siguiente:

*Tabla 7: Inversión en el sistema de Distrito de Frío*

### INVERSIÓN PLANTA

	\$/kW	Capacidad kW	Costo (\$)
Enfriadora base			
Enfriadoras por agua	150,0	1.400	210.000
Torres de enfriamiento	87,5	1.540	134.750
Bombas enfriadoras y torre	25,0	1.540	38.500
Tareas mecánicas y tubería	48,0	1.400	67.200

<sup>3</sup> publicado en el Diario Oficial La Gaceta (ALCANCE NO 198 A LA GACETA NO 187) del 30 de julio del 2020 [https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2020/07/30/ALCA198\\_30\\_07\\_2020.pdf](https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2020/07/30/ALCA198_30_07_2020.pdf)

Electricidad e instrumentación	15,0	1.400	21.000
Auxiliares	10,0	1.400	14.000
Estructura/civil/arquitectónico			42.000
Edificio			75.000
Imprevistos	10%		60.245

Enfriadora de punta			
Enfriadora por aire	175,0	800	140.000
Variadores de frecuencia			25.000
Varios	10%		16.500

Otros equipos			
Bombas de distribución			70.000
Obra civil y otros			100.000
Conexiones eléctricas, transformador			150.000
Acumulador frío	$\$/m^3$		
Acumulador, movimientos tierras	460	750	345.000

DISTRIBUCIÓN Y ETS	Costo (\$)
Subestaciones	206.535
Tuberías red de distribución	973.777
TOTAL	

A parte de estos costos, hay que tomar en cuenta la inversión en la conversión del sistema actual en todos los edificios e inversión en la instalación fotovoltaica. La conversión completa de todos los edificios asciende a 5,17 MUS\$.

Tabla 8: Inversión en la conversión de los edificios

INMUEBLE	AREA TOTAL (m <sup>2</sup> )	AREA OFICINAS (m <sup>2</sup> )	MONTO TOTAL (\$)
BLOQUE A	5.300	3.788	565.152
BLOQUE B	4.200	2.880	421.419
PROVEEDURÍA	2.000	1.276	157.450

MUSEO Y FGA	1.680	10,80	166.125
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN (IC)	5.370	4.510	621.077
DIPOA	11.850	9.700	1.496.098
JMDO	20.100	12.250	1.744.266
TOTAL			5.171.588

La instalación fotovoltaica de 400 kWp requerirá una inversión de 360.000US\$, estimada a partir de costos de inversión de 900 USD/kWp de fotovoltaica.

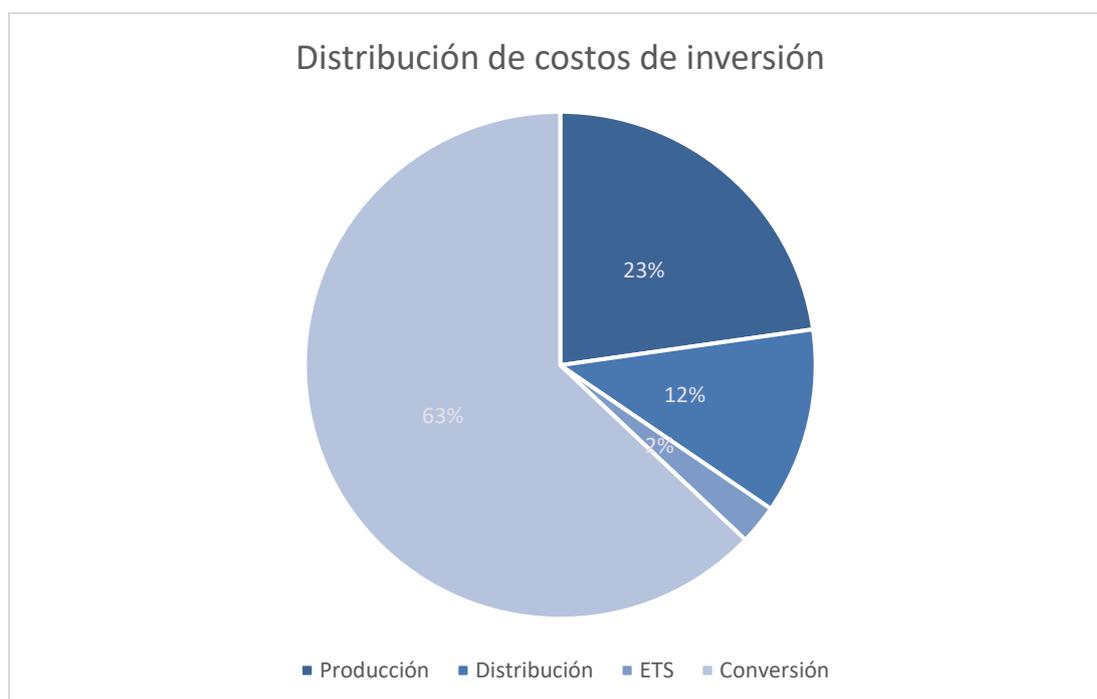


Gráfico 40: Distribución de costos de inversión

## 5.2 Ahorro en costos de operación

Los ahorros se calculan como resultado de la evaluación de mercado realizada y la identificación de las tecnologías BAU (Business as Usual) existentes. Los ahorros consisten en ahorros eléctricos relacionados con la climatización por distrito en comparación con sistemas individuales, ahorros eléctricos debido al cambio de tarifas, ahorros eléctricos con acumulación día/noche y ahorros por la producción de la energía fotovoltaica. Finalmente, se incluyen ahorros de operación y mantenimiento para el sistema de enfriamiento del distrito en comparación con el sistema individual de todos los edificios.

### 5.2.1 Ahorros por fotovoltaica

Con la energía solar fotovoltaica, podemos conseguir ahorros calculados a un valor aproximado de 48 kUSD al año.

## 5.2.2 Consumos energéticos caso base y caso de Distrito de Frío

El ahorro eléctrico del DF frente a BAU es el siguiente:

- Con tarifa T-CO actual: Energía a 0,108 USD/kWh al año y potencia a 18 USD/kW al mes.
- Costo eléctrico BAU en total 775 kUSD anuales
- Costo de electricidad del DF en total 372 kUSD anuales
- Ahorro eléctrico es de 400 kUSD al año

Tarifa Comercios y Servicios T-CO	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh cada kWh	€109,95
Por consumo de energía	
Bloque de 0 a 3.000 kWh Cargo fijo	€198.600,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	€66,20
Cargo por potencia	
Bloque de 0 a 8 kW Cargo fijo	€88.269,20
Bloque mayor a 8 kW cada kW	€11.033,65

Tabla 9: Cálculo ventaja competitiva

BAU Tarifa T-CO	CAPACIDAD FRÍO	CONSUMO FRÍO	SEER	POTENCIA ELÉCTRICA	CONSUMO ELÉCTRICO	COSTO POTENCIA	COSTO ENERGÍA	TOTAL
	kW	kWh		kW	kWh	US\$	US\$	US\$
A	274	522.238	1,6	171	326.399	37.077	35.302	72.379
B	216	409.392	1,6	135	255.870	29.227	27.674	56.901
C	125	163.688	1,6	78	102.305	16.918	11.065	27.983
IC	284	556.157	1,6	178	347.598	38.416	37.595	76.010
DIPOA	783	1.627.634	1,6	490	1.017.271	105.899	110.024	215.923
FGA	76	178.523	1,6	47	111.577	10.271	12.068	22.339
JMDO	1.106	2.285.966	1,6	691	1.428.728	149.532	154.525	304.057
TOTAL	2.,865	5.743.597		1.791	3.589.748	387.341	388.252	775.593

DF Tarifa T-CO	CAPACIDAD FRÍO	CONSUMO FRÍO	SEER	POTENCIA ELÉCTRICA	CONSUMO ELÉCTRICO	COSTO POTENCIA	COSTO ENERGÍA	TOTAL
	kW	kWh		kW	kWh	US\$	US\$	US\$
A	274	522.238	4	69	130.559	14.831	14.121	28.952
B	216	409.392	4	54	102.348	11.691	11.070	22.760

C	125	163.688	4	31	40.922	6.767	4.426	11.193
IC	284	556.157	4	71	139.039	15.366	15.038	30.404
DIPOA	783	1.627.634	4	196	406,908	42.360	44.010	86.369
FGA	76	178.523	4	19	44.631	4.109	4.827	8.936
JMDO	1.106	2.285.966	4	277	571.491	59.813	61.810	121.623
Bomb eo	143	287.180		143	287.180	30.987	31.060	62.047
	3.008	5.743.597		859	1.723.079	185.924	186.361	372.285

### Cambio de tarifa

Mediante la introducción de otra tarifa, como T-MT (tarifas tres períodos: punta, valle y noche) se pueden alcanzar ahorros eléctricos significativos, detallados a continuación:

- El costo total de la electricidad con DF es de 271 KUSD con la tarifa T-MT en comparación con los 372 KUSD con la tarifa T-CO.
- El ahorro por cambio de tarifa es de 101 KUSD al año.

Ahorro de desplazar consumo a tarifa más baja mediante el almacenamiento

Al introducir el almacenamiento se dispone de más ahorros eléctricos. En total 70 KUSD.

Tarifa Media Tensión T-MT		
Consumo de energía por cada kWh		
	Máxima	Mínima
Energía Punta	¢56,09	¢54,23
Energía Valle	¢28,04	¢27,11
Energía Noche	¢20,20	¢19,52
Consumo de potencia (kW)		
	Máxima	Mínima
Energía Punta	¢9.835,89	¢9.509,34
Energía Valle	¢6.998,55	¢6.766,20
Energía Noche	¢4.442,81	¢4.295,31

Tabla 10: Ahorros por cambio de tarifa y por acumulación

	kW frío	kWh frío	kWh bombeo	POTENCIA \$	ENERGÍA \$	TOTAL
punta	3.008	2.458.742	122.937	2.692	67.595	
valle	3.008	3.284.854	164.243	4.615	90.306	
noche	2.008	-		2.129		
TOTAL		5.743.597		113.235	157.900	271.135
				Ahorros por el cambio de tarifa		101.150

	kW frío	kWh frío	kWh bombeo	POTENCIA \$	ENERGÍA \$	TOTAL
punta	2.740	1.808.742	90.437	2.906	49.725	
valle	3.008	3.284.854	164.243	3.965	45.145	
noche	2.008	650.000	32.500	1.421	6,435	
		5.743.597		99.501	101.305	200.807
				Ahorros Acumulados.		70.328

En resumen, los ahorros anuales serán:

- Ahorro Eléctrico - DF versus BAU = 400 kUSD al año
- Ahorro por cambio de tarifa eléctrica = 100 kUSD al año
- Ahorro eléctrico por acumulación = 70 kUSD al año
- Ahorro de fotovoltaica = 48 kUSD al año
- El ahorro de mantenimiento- DF versus BAU se calcula en 86 kUSD al año
- Ahorro total 700 kUSD al año

### 5.3 Costos evitados

Como costos evitados se contemplan las inversiones que se tendrán que hacer si no se opta por desarrollar el Distrito de Frío. Esto significa que se van sustituyendo las máquinas pequeñas y medianas existentes, cuando se acabe su vida útil, o se están añadiendo para los nuevos espacios que se quieren climatizar. El costo de sustitución de diversos equipos de climatización en los siete edificios considerados a un costo de 225 \$/kW de promedio. La capacidad total de estos equipos es de 7.097 kW, según la información proporcionada por los profesionales del ICE (ver Anexo 1).

### 5.4 Resultados finales

Para la arquitectura del sistema seleccionada, se valoran cuáles son las mejores opciones tecnológicas, los cálculos de CAPEX (Inversión) y OPEX (Gastos operativos) y los retornos de inversión. Los cálculos de CAPEX incluyen la producción, distribución y transferencia de frío al edificio del cliente, así como la conversión de los edificios usuarios.

Las inversiones para la conversión del edificio fueron proporcionadas por los profesionales del ICE e interpretados por los expertos de DEVCCO. Estos costes de conversión se tienen en cuenta para los cálculos de inversiones y de indicadores financieros.

Los ahorros se calculan como resultado de la evaluación de mercado realizada y la identificación de las tecnologías BAU (Business as Usual) existentes. Los ahorros consisten en ahorros eléctricos con Distrito de Frío en contraposición a los sistemas individuales, ahorros eléctricos debido al cambio de tarifas, ahorros eléctricos producto del acumulador día/noche y ahorros de energía por producir energía a través de sistemas fotovoltaicos.

Se tienen en cuenta ahorros de reposición de los sistemas actuales al final de su vida útil. Finalmente, se incluyen ahorros de operación y mantenimiento para el sistema de Distrito de Frío en comparación con el sistema individual de todos los edificios.

Las cifras clave financieras se calcularán para establecer una línea de base y una evaluación de rentabilidad aproximada al caso de negocio de Distrito de Frío en estudio.

Para establecer el caso base, no se ha considerado el incremento de precio de la energía (que iría a favor de la propuesta de red de enfriamiento). Los cálculos se han realizado según los costos actuales, pues no se han tenido en cuenta la inflación variación de precios eléctricos. Se ha utilizado un costo medio ponderado de capital (“WACC”) del 6% para los cálculos de referencia. A partir de los valores expuestos en los apartados anteriores se han obtienen siguientes indicadores financieros:

Las hipótesis y resultados del caso planteado son las siguientes:

*Tabla 11: Resumen indicadores*

RENTABILIDAD	20 años
Valor actual Neto (VAN)	1.095.450
Tasa Interna de Rendimiento (TIR)	7,9%
Pay-Back (Año)	10

Para ejecutar los cálculos se ha utilizado un modelo financiero simplificado, que tiene en cuenta la evolución anual del proyecto (inversiones y ahorros).

Tabla 12: Flujo de caja; todos los valores se expresan en US\$

INGRESO (REDUCCIÓN COSTOS)	Valor actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ahoros eléctricos por eficiencia	4.437.777	240.797	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000
Ahorro eléctrico por cambio de tarifa	1.109.444	60.199	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Ahoros por desplazar tarifa punta (acumulación)	736.857	0	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000
Ahorros por desplazar por PV	550.556	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000
Ahorro O&M	986.413	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000	86.000
<b>SUMA</b>	<b>7.821.047</b>	<b>434.996</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>	<b>704.000</b>
CAPEX	Valor actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción frío	1.405.346	1164195	345.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Distribución	895.258	535.578	438.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETS	191.315	140.444	66.091	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conversión de edificios	4.785.713	3.427.322	1.744.266	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV instalación	339.623	360.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos evitados BAU	-891.659	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.596.825	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Suma CAPEX</b>	<b>6.725.597</b>	<b>5.627.539</b>	<b>2.593.557</b>	<b>0</b>	<b>-1.596.825</b>	<b>0</b>															
FLUJO DE CAJA	Valor actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Flujo de caja	1.095.450	-5.192.543	-1.889.557	704.000	704.000	704.000	704.000	704.000	704.000	704.000	2.300.825	704.000	704.000	704.000	704.000	704.000	704.000	704.000	704.000	704.000	704.000
Flujo de caja acumulado		-5.192.543	-7.082.100	-6.378.100	-5.674.100	-4.970.100	-4.266.100	-3.562.100	-2.858.100	-2.154.100	146.725	850.725	1.554.725	2.258.725	2.962.725	3.666.725	4.370.725	5.074.725	5.778.725	6.482.725	7.186.725

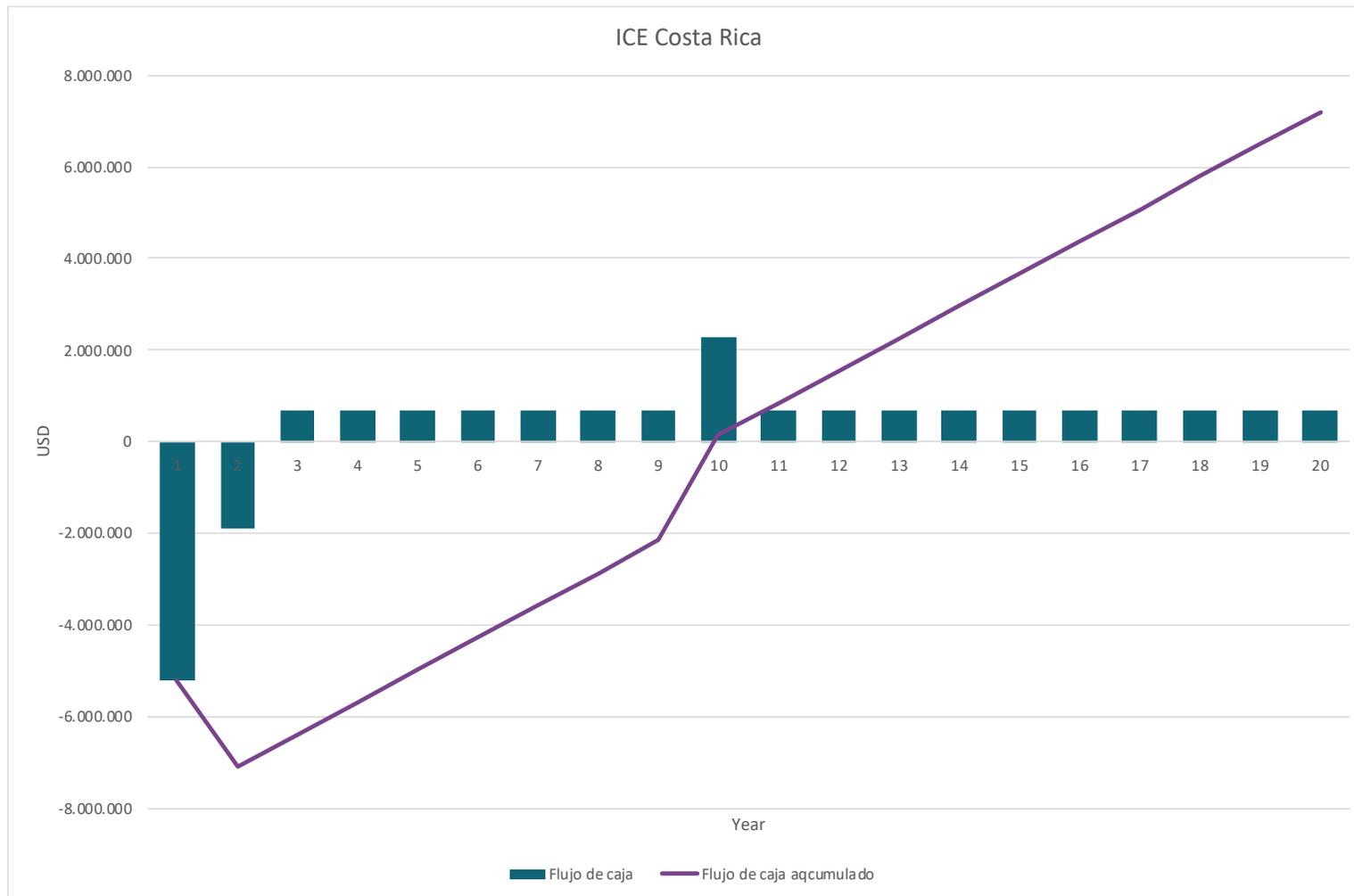


Gráfico 41: Flujo de caja del proyecto de Distrito de Frío

## 6 Partes interesadas

En esta red de enfriamiento, el agente esencial es el ICE. Entre las partes interesadas se debe de contar con el apoyo de la municipalidad, al menos para la coordinación de los permisos para intervenir la vía pública para el zanjeo, instalación de la tubería.

## 7 Modelo de propiedad y modelo de negocio

Hay varias dimensiones o enfoques para desarrollar un modelo comercial para un proyecto de distrito a gran escala. Las principales preguntas que se buscan abordar son: ¿quién es el propietario actual y futuro del sistema de Distrito de Frío y del negocio?, ¿Cuáles son las fuentes de financiamiento disponibles?, ¿Cuáles son las alternativas de contratación de las que se puede disponer? Y ¿Qué tipo de recursos y habilidades se requieren para desarrollar las diferentes alternativas?

Los agentes habituales en un proyecto de Distrito de Frío se definen a continuación, y algunos de ellos forman parte de más de una de las categorías:

- Los inversores y patrocinadores incluyendo el proveedor de servicios de refrigeración del gobierno, la ciudad/municipio y el distrito.
- Los propietarios del proyecto incluyen el gobierno central, la ciudad/municipio, los servicios públicos (públicos/privados) y el proveedor de servicios de refrigeración del distrito.
- Los operadores de Distrito de Frío incluyen el municipio, la empresa de servicios públicos (públicos/privados), el proveedor de servicios de Distrito de Frío y la comunidad, que a menudo no tiene fines de lucro.
- Los consumidores de Distrito de Frío a los que se hace referencia como compradores incluyen edificios gubernamentales, cargas de anclaje (gubernamentales/privadas), complejos comerciales privados y áreas residenciales de alta densidad.

El modelo de negocio para un sistema energético de distrito es muy específico para cada caso. Debe garantizar que todas las partes interesadas involucradas, incluidos inversores, desarrolladores, propietarios, operadores, empresas de servicios públicos/proveedores, consumidores finales y municipios, puedan obtener beneficios económicos, además de cualquier otro beneficio que busquen.

La mayoría de los modelos de negocio para la energía de distrito involucran al sector público hasta cierto punto, ya sea como un creador de políticas públicas, planificador, regulador o consumidor local, o más directamente a través de la propiedad parcial o total de los proyectos. La participación del sector público puede ser fundamental para coordinar proyectos múltiples y diversos en torno a una visión más amplia de la ciudad. Incluso los proyectos con un alto grado de control del sector privado a menudo siguen siendo facilitados o apoyados de alguna manera por el sector público.

El patrón de propiedad determina el grado de control, el nivel de propiedad (único/mixto) y el nivel de inversión que ejercen los interesados que invierten en él. El grado de control y el nivel de inversión, por lo tanto, segrega los modelos comerciales de energía del distrito en dos categorías principales: la propiedad única o el modelo de propiedad híbrida (con más subcategorías) como se describe a continuación:

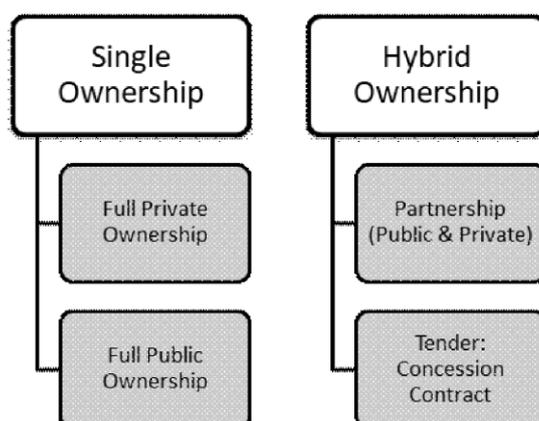


Gráfico 42: Esquemas de propiedad

La siguiente tabla muestra los atributos y características importantes de cada tipo de modelo de negocio. Los modelos de negocio se caracterizan típicamente dentro de la categoría seleccionada, que involucran la estructura de propiedad, la gobernanza, ya sea pública, privada de una combinación de competencias, el control del proceso de desarrollo y, por último, la obtención de financiación, cómo se obtiene el apoyo financiero y quiénes serán los inversores/prestamistas relevantes.

Tabla 13: Pros y contras de los distintos esquemas

Modelo de negocio	Propiedad	Gobernanza	Control	Fuente de financiación
Propiedad única Propiedad pública total	La propiedad pública total se refiere a una autoridad local, como un servicio público o de propiedad municipal, que tiene el 100% del capital social. Opción de transferencia a propiedad privada total o parcial mediante adquisición de acciones.	Gobernanza total del sector público. Opción de subcontratar ciertas asignaciones dentro del diseño técnico, construcción (EPC) y O&M.	El propietario público tiene el control total de las conexiones de la red de distribución y las políticas de tarifas. Acomoda rápidamente las cargas de anclaje y fomenta la expansión/escalabilidad mediante intervenciones regulatorias (bonificación por densidad, exenciones de impuestos)	Subvenciones públicas, obtención de deuda pública con menor interés, bancos de desarrollo nacionales o internacionales, subvenciones municipales o fondos públicos
Propiedad única Propiedad privada total	Propiedad privada total: 100% del capital.	Estructuralmente, la gobernanza la determina el propietario privado, ya que tiene el 100% del capital social.	Participación menor con autoridades locales o actores del sector público. Pero bajo control regulatorio y aprobaciones.	Abastecimiento financiero interno - capital privado. La colaboración con las autoridades locales puede garantizar subvenciones, pero influirá en la gobernanza.

<p>Propiedad híbrida Asociación Publico-privada</p>	<p>Acuerdo contractual de empresa conjunta (10% ~ 49%).</p>	<p>La gobernanza está estructurada en relación con el conjunto de habilidades / competencias. División Pública / Privada. El sector público puede poseer terrenos, una red de distribución común y facilitar las barreras regulatorias para el desarrollo de proyectos y anclar cargas. El sector privado puede poseer maquinaria y asumir el diseño, la construcción y las operaciones.</p>	<p>La administración y la estructura de dirección seguirán el porcentaje de propiedad y los compromisos.</p>	<p>La entidad individual de la asociación es responsable del apoyo financiero para las funciones y desarrollos que controlan. Sin embargo, una colaboración estructurada y la equidad podrían ayudar a mitigar las oportunidades financieras actuales.</p>
<p>Propiedad híbrida Licitación: Contrato de concesión</p>	<p>Vehículo de Propósito Especial (SPV - proveedor de District Cooling y servicio público) absorberá la operación pública existente durante un período fijo a través de un proceso de licitación.</p>	<p>Las operaciones completas y el diseño técnico son responsabilidad total de la SPV durante el período.</p>	<p>Periodo de licitación: la autoridad local tiene un control limitado. Energy Service Company está regulada para evitar la monopolización de la presencia de servicios públicos en SPV.</p>	<p>Importantes oportunidades financieras por parte del propietario híbrido proveedor de servicios del District Cooling</p>

Dado que la hipótesis de partida, definida por la contraparte técnica, es apostar por un sistema de Distrito de Frío institucional – acotado únicamente a los edificios propiedad del ICE, y considerando que el ICE es una empresa energética con suficiente capacidad técnica, entendemos que el modelo adecuado, en cuanto a la propiedad del sistema de Distrito de Frío, sería uno donde el mismo ICE es el inversor y propietario.

Al tratarse de un sistema de Distrito de Frío institucional, y de propiedad de la misma institución, el modelo de negocio se basa en la optimización de inversiones y en los beneficios conseguidos gracias a ahorros en operación. No existen ingresos sino reducción de gastos, cosa que mejora la cuenta de explotación del conjunto de edificios en Sabana Norte.

## 8 Impactos medioambientales

### 8.1 Contribución de distritos de frío al cumplimiento de políticas ambientales del país<sup>4</sup>

Costa Rica ha demostrado ambición en la implementación de estándares de eficiencia energética, así como en la reducción de emisión de gases de efecto invernadero y sustancias que producen agotamiento de la capa de ozono. En el año de 1991 se aprueba formalmente la ley #7223, ratificando su adhesión al Protocolo de Montreal, posteriormente la Enmienda de Kigali es aprobada en 2016 bajo la ley #9522 que es ratificada en 2018 por el decreto ejecutivo N° 41064; adicionalmente Costa Rica firma el Acuerdo de París el 22 de abril del 2016, comprometiéndose a reducir en un 50% las emisiones de efecto invernadero respecto al 2012 en el año 2050 y alcanzar la descarbonización en el año 2100; buscando detener el aumento de la temperatura media del planeta por debajo de 2 grados por sobre la época preindustrial, y hacer los esfuerzos para limitarlo a 1,5 grados. Alineados con estos acuerdos internacionales el país ha desarrollado planes, normativas y reglamentación necesaria para apoyar e impulsar las energías renovables y tecnologías eficientes, así como reducir la responsabilidad del gobierno de subsidiar combustibles fósiles, objetivos claramente expuestos en el Plan Nacional de Energía, Plan Nacional de Descarbonización, el Plan Nacional de Desarrollo, Ley #7447 de Regulación del Uso Racional de la Energía y el compromiso para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El alcance y lugar que tiene el concepto de Distritos de Frío en algunos de los planes y normativas se detalla a continuación.

Dentro del Plan Nacional de Energía (PNE) es importante destacar dos de los objetivos sectoriales:

- Objetivo sectorial 2: Plantea fomentar las acciones frente al cambio climático global, mediante la participación ciudadana, el cambio tecnológico, procesos de innovación, investigación y conocimiento para garantizar el bienestar, la seguridad humana y la competitividad del país.
- Objetivo sectorial 3: Busca suplir la demanda de energía del país mediante una matriz energética que asegure el suministro óptimo y continuo de electricidad y combustible promoviendo el uso eficiente de energía para mantener y mejorar la competitividad del país.
  - El desarrollo del concepto de Distritos de Frío colaboraría a:
  - Reducir la necesidad de consumo eléctrico, aumentando la disponibilidad en la matriz eléctrica instalada.
  - Gracias a su capacidad para trabajar acorde con la energía disponible en las horas no pico, puede almacenar energía en forma de agua helada o hielo.
  - Puede permitir el uso de energía en las horas que tiene menor costo de producción, y evitar las horas con mayor costo, por lo que puede reducir los costos que se transfieren al consumidor.
  - Se puede pensar para macro consumidores y el sector público, quienes, según el PNE, corresponden a un 82% del consumo energético nacional.

Dentro del Plan Nacional de Descarbonización: Los Distritos de Frío pueden apoyar al cumplimiento del EJE 5, artículo 2 inciso 1 a través de la promoción y aplicación de prácticas de eficiencia energética en edificaciones existentes.

---

<sup>4</sup> El apartado 8.1 fue elaborado por los profesionales del MINAE

- Impulsando el uso de equipos eficientes, equipos solares, equipos de refrigeración y aire acondicionado con gases refrigerantes naturales o con bajo potencial de calentamiento global (Acordes con enmienda de Kigali en edificaciones existentes)

La Ley de Regulación del Uso Racional de la Energía: Tiene como objetivo consolidar la participación del Estado en la promoción y ejecución gradual del programa de uso racional de la energía, así como establecer mecanismos para alcanzar el uso eficiente de la energía y sustituirlos cuando convenga al país, considerando la protección del ambiente. Si bien la ley no contempla el concepto de Distritos de Frío, faculta la exoneración de impuestos a equipos y tecnologías que trabajen a partir de energías renovables o alternativas eficientes; por lo que según el artículo 38 de la misma ley, el Poder Ejecutivo por medio de la actuación conjunta de común acuerdo entre el Ministro de Ambiente y Energía (MINAE) y el Ministro de Hacienda de Costa Rica, mediante criterio técnico debidamente fundamentado, podrán modificar la lista de materiales y equipos exonerados para adaptarla a los avances del conocimiento científico, el uso racional y eficiente de la energía o que promuevan el desarrollo de fuentes de energía renovables que reduzcan la dependencia del país de los combustibles fósiles; a razón de lo que se sugiere analizar técnica, legal y económicamente la posibilidad para determinar si es viable o no la inclusión de elementos esenciales de los Distritos de Frío.

Respecto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible:

La importancia de desarrollar Distritos de Frío puede abordarse principalmente desde cuatro objetivos de desarrollo sostenible, sin que eso implique que el concepto no pueda relacionarse o incidir en el cumplimiento de otros.

#### Objetivo 3: Salud y Bienestar

Actualmente los hospitales dependen de los refrigerantes sintéticos, con alto potencial de calentamiento global, los cuales experimentan una reducción paulatina; he aquí el valor de que los hospitales del país cuenten con alternativas tecnológicas que sean viables para la climatización de áreas críticas como Quirófanos, Laboratorios, Farmacias, especialidades médicas, entre otras dependientes del control de la humedad y la temperatura.

#### Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante:

Gracias a la posibilidad de los Distritos de Frío para aprovechar y gestionar (almacenar) energía en forma de frío de fuentes no gestionables como la solar y la eólica; pueden aportar a la ampliación de la infraestructura y mejora tecnológica para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles; formando parte de la promoción necesaria en inversión de infraestructura energética y tecnologías limpias.

#### Objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructura:

El concepto de Distritos de Frío involucra de manera integral la forma en como los usuarios de la climatización desarrollan infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad; modernizando la infraestructura, reconvirtiendo las industrias para que sean sostenibles, hacia un uso eficiente de los recursos, promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales.

#### Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles:

Los Distritos de Frío deben de ser contemplados dentro de la planificación urbana, como parte de las soluciones tecnológicas que promuevan el uso eficiente de los recursos, así como la mitigación y adaptación del cambio climático; adicionándose en la promoción de prácticas de adquisición pública que sean sostenibles, de conformidad con las políticas y prioridades nacionales.

#### Objetivo 13: Acción por el clima

El concepto de Distritos de Frío debe formar parte de las medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales, promoviendo mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático.

## 8.2 Reducción del impacto ambiental de la climatización de los edificios del ICE en Sabana Norte

En los ciclos basados en sistemas refrigerantes por compresión, siempre existe un efecto asociado a la utilización de refrigerantes. Estos son los sistemas más usuales para la climatización, aunque el hecho de realizar proyectos a gran escala facilita el poder conseguir máquinas con ciclos frigoríficos más eficientes y refrigerantes mucho más sostenibles, de menor impacto ambiental, que cumplan los criterios internacionales, cada vez más estrictos con respecto a su potencial de calentamiento global (PCG). En la siguiente figura se compara la cantidad de refrigerante empleada en equipos de producción, por unidad de capacidad de producción de frío, para distintas tecnologías.

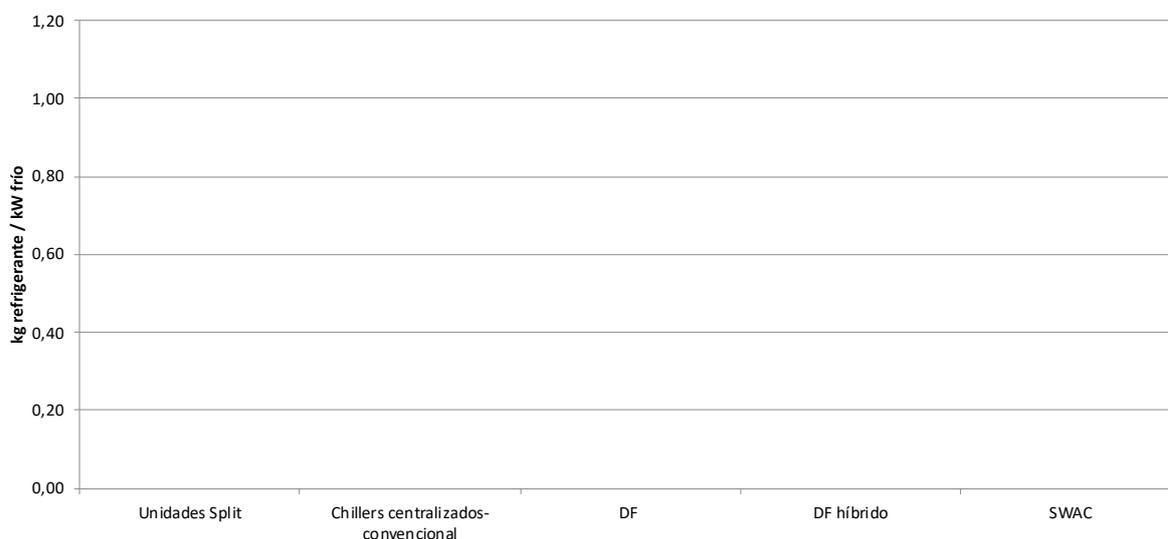


Gráfico 43: Cantidad de refrigerante típica para diferentes soluciones

A partir de la información proporcionada por los profesionales del ICE se ha identificado una capacidad de equipos de aire acondicionado instalada de equipos de aire acondicionado de 7.097 kW. Asumiendo una carga media de 0,5 kg de refrigerante por cada kW, y un uso mayoritario del refrigerante R-410A – un 75%, y un uso menos frecuente del refrigerante R-22 – un 25%, se llega a siguientes resultados:

- Cantidad total de refrigerantes: 3.550 kg
- Cantidad de R-410A: 2.690 kg, con PCG de 2.088 – equivalente a 5.617 toneladas de CO2
- Cantidad de R-22: 860 kg, con PCG 1.810– equivalente a 1.555 toneladas de CO2

Aquí se asumen los valores de fugas de refrigerante de un 10%<sup>5</sup>, que corresponden a datos de operación real. El impacto del sistema actual de aire acondicionado del ICE equivale a unas 720 toneladas de CO2 al año.

<sup>5</sup> City of Seattle Refrigerant Emissions Analysis GHG Emissions Calculation Methodologies (2020)

El distrito de frío previsto utilizará 980 kg de refrigerante, que debería ser de tipo HFO o de la familia de refrigerantes naturales, como el R-290, que tienen el PCG entre 1 y 4. EL PCG del total de refrigerante del distrito de frío será inferior al equivalente de 3,9 tCO<sub>2</sub>, mientras que las potenciales fugas resultan en un valor inferior a 0,12 tCO<sub>2</sub> equivalente, al año.

Tabla 14: Cantidad de refrigerante para las dos opciones

	Refrigerante (kg refrigerante)	PCG total (tCO <sub>2</sub> equivalente)	PCG de fugas (tCO <sub>2</sub> /año)
Caso base	3.550	7.200	720
Caso Distrito de Frío	980	< 3,9	<0,12

Para visualizar el impacto de la sustitución de refrigerantes se ha realizado un cálculo adicional de los indicadores económicos, asignando un valor a las emisiones ahorradas. Se utilizan dos referencias:

Como primera referencia se asume el valor de 52,5 \$/tCO<sub>2</sub>, que es el precio promedio del año en curso de derechos de emisión del CO<sub>2</sub> según el Sistema europeo de negociación de CO<sub>2</sub>. Incluyendo este valor, de momento intangible para el proyecto de distrito de frío, la TIR sube del 7,9% al 8,6%.

Como segunda referencia se asume el valor de 220 \$/tCO<sub>2</sub>, que es el valor equivalente de impacto socio económico calculado por las expertas de la Universidad de Stanford<sup>6</sup>. Incluyendo este valor en el flujo de caja la TIR sube del 7,9% al 10,5%.

## 9 Identificación de riesgos

La gestión de riesgos, incluido el análisis de riesgos con acciones de mitigación, son elementos importantes para desarrollar un sistema de Distrito de Frío. Hay que desarrollar un protocolo de riesgo. Para cada riesgo definido, por lo que es aconsejable realizar una descripción del riesgo, su fuente, consecuencia y acción de mitigación (respuesta).

A continuación, se comentan algunos riesgos particulares identificados en el caso concreto del Distrito de Frío de ICE en el ámbito de Sabana Norte.

### 9.1 Implementación de la tecnología y confianza del usuario

Los sistemas de Distrito de Frío se basan en el uso de una tecnología probada y fiable que proporciona varios beneficios a usuarios y otros actores, pero dado que la tecnología es nueva en el contexto nacional, demostrar la funcionalidad y fiabilidad localmente es clave para lograr un alto nivel de confianza del usuario del servicio, lo que puede facilitar la expansión del sistema fuera de los límites estrictos de lo que son edificios del ICE, y una eventual contratación de nuevos clientes, si se considerase oportuno comercializar el servicio para terceros. Así

<sup>6</sup> Moore, Frances y Diaz, Delavane. (2015). Temperature Impacts on Economic Growth Warrant Stringent Mitigation Policy. Nature Climate Change. 5. 10.1038/nclimate2481

mismo, a nivel país, este ejemplo puede generar confianza para fomentar desarrollo de distritos de frío en otras áreas.

El riesgo de falta de confianza en el producto / servicio se puede mitigar parcialmente diseñando el sistema para las temperaturas de Distrito de Frío convencionales según lo planificado y también demostrando la tecnología mediante la implementación de la estrategia de desarrollo por fases, mediante un proyecto de menor escala. Por otro lado, la continua comunicación y la transparencia en cuanto los datos cuantificados de la calidad y disponibilidad de servicio también ayudan a generar confianza en el sistema.

## **9.2 Estructuración de las partes interesadas y financiación del desarrollo**

El desarrollo del Distrito de Frío a gran escala requiere que las partes interesadas “*stakeholders*” de primer nivel tengan la capacidad de financiar o atraer financiamiento para las fases de desarrollo previstas a su debido tiempo. La carencia de dicho recurso y estructura plantea un riesgo potencial en cualquier desarrollo de Distrito de Frío.

## **9.3 Saturación del subsuelo**

Saturación del subsuelo de bajo de la vía pública con infraestructuras que impidan el paso proyectado de la red de distribución. Es poco probable que el subsuelo esté tan saturado para impedir el trazado de la red. Sin embargo, la existencia de por ejemplo conductos de alcantarillado o colectores de grandes dimensiones puede demandar aumentar los costos de instalación de la red para sortear estas infraestructuras.

## **9.4 Consumo ancla (JMDO) como fase final del proyecto**

Necesitamos garantizar que este consumo puede asociarse a la red a futuro, para garantizar la rentabilidad del sistema. El hecho que el propietario de los edificios y de la red pueda terminar siendo el mismo permite garantizar una buena planificación y gobernabilidad del sistema.

## **9.5 Condiciones geotécnicas**

Las condiciones geotécnicas pueden tener un impacto importante en los costos de construcción. En el caso que nos ocupa, esto es particularmente importante para el depósito de acumulación propuesto. Para acotar este riesgo será necesario realizar los estudios geotécnicos pertinentes y diseñar la estructura del acumulador según resultados de este estudio.

## **9.6 Imposibilidad de conversión de determinados edificios**

Podrían existir razones técnicas o espaciales que dificultan la conversión de alguno de los edificios de los que se pretenden conectar al sistema de Distrito de Frío. Para acotar este riesgo, sería necesario hacer una auditoría orientada a esta cuestión.

## **9.7 Riesgo operacional**

Aunque los sistemas distritos de frío han demostrado ser confiables, el riesgo de interrupción del suministro de enfriamiento debe priorizarse desde el diseño hasta la operación del sistema. Para cada fase, se puede lograr la redundancia en la instalación de producción al contar con respaldo para los equipos críticos, como bombas de

torres de enfriamiento, bombas de distribución, intercambiadores de calor y enfriadoras. Con fases adicionales e instalaciones de producción implementadas, no solo aumentará la redundancia de producción, sino también la capacidad de crear rutas de distribución redundantes. Clientes con requisitos de confiabilidad excepcionales, por ejemplo, hospitales y centros de datos, normalmente utilizarán el suministro del Distrito de Frío como su sistema principal, con un sistema local como respaldo.

## 10 Conclusiones y recomendaciones

Se puede concluir que nos encontramos delante de un caso prometedor, aunque complejo, tiene un buen potencial económico para su desarrollo de Distrito de Frío, sobre todo teniendo en cuenta la baja eficiencia de los sistemas actuales de climatización de los edificios del ICE. Esta complejidad viene dada por la necesidad de sustituir los sistemas de frío en todos los edificios.

Se ha evaluado la implantación de un sistema convencional ya que en este momento no se dispone de suficiente información del caudal y las temperaturas del río Torres, que podría funcionar como medio de disipación aumentando la eficiencia del Distrito de Frío.

Con unas inversiones que ascienden a **8,22 MUS\$ en total**, se puede construir un sistema significativamente más eficiente que el actual, con un tiempo de **retorno de 10 años** y una TIR de la inversión del 7,9% a 20 años. De esta inversión unos 5,17 MUS\$ se destinarían a la adecuación de los edificios y unos 3,05 MUS\$ al sistema de Distrito de Frío propiamente.

La ventaja del Distrito de Frío se basa en la mejora de la eficiencia de equipos de producción de frío, el acceso a mejores tarifas eléctricas, y el desplazamiento del consumo eléctrico de horas punta hacia periodos valle, con menor costo eléctrico. El sistema de DF consigue una reducción del impacto medioambiental muy significativa, eliminando un impacto equivalente a la emisión de 720 toneladas de CO<sub>2</sub>, al año.

### 10.1 Sistema propuesto

La configuración final del sistema de Distrito de Frío para el conjunto de edificios del ICE en Sabana Norte consta principalmente de los siguientes equipos: dos enfriadoras eléctricas de carga base, de una capacidad conjunta de 1.400 kW con dos torres de enfriamiento separadas, con una capacidad conjunta de 1.700 kW, una enfriadora eléctrica para carga punta condensadora por aire con una capacidad de 800 kW, un acumulador día/noche, preferiblemente ubicado junto al edificio JMDO con un tamaño de 750 m<sup>3</sup> y una capacidad de 600 kW que se cargará durante la noche y se descargará durante el día. El edificio de la central se ubica en el extremo noroeste de los terrenos del ICE en una nueva nave de unos 150 m<sup>2</sup>. La distribución de agua helada por un trazado soterrado con una longitud de aproximadamente 800 m.

Se recomienda, y así se ha considerado en los cálculos, utilizar las ETS con conexión indirecta, con intercambiadores de calor para cada edificio. El salto térmico de la distribución considerado es de 10°C. ya que se trataría de un sistema en el que todas las instalaciones, incluidas las de la distribución y difusión de frío en los edificios, se harían nuevas.

## 10.2 Inversiones necesarias y resultados financieros

En cuanto a los resultados del análisis de viabilidad financiera, los indicadores resultantes se consideran de interés, con un valor actual neto (VAN) de 1.095.450 US\$, una tasa interna de retorno del 7,9% y un tiempo de retorno de inversión del proyecto de 10 años.

La inversión total necesaria para configurar el Distrito de Frío para los edificios del ICE en Sabana Norte, incluyendo la conversión de todos los edificios, ya que actualmente todos operan con sistema de expansión directa, es de 8,22 MUS\$ en total.

El sistema de Distrito de Frío permitiría a la institución conseguir unos ahorros de explotación significativos. Los ahorros consisten en: ahorros eléctricos con Distrito de Frío en comparación con sistemas actuales debido a una significativa mejora de la eficiencia energética, al desplazamiento de consumos de hora punta a los periodos tarifarios de costo inferior, al cambio de la tarifa eléctrica, a los costos evitados de inversión, y a ahorros de operación y mantenimiento que proporcionará el sistema de Distrito de Frío en comparación con los sistemas actuales de los edificios. Los ahorros totales esperados en consumo eléctrico se sitúan en 700 kUSD al año. En los cálculos de ahorro. Como costos evitados se contemplan las inversiones que se tendrían que hacer si no se opta por desarrollar el Distrito de Frío. Esto significa reposición de equipos actuales al final de su vida útil.

## 10.3 Observaciones y recomendaciones

A pesar de las hipótesis inicialmente planteadas, claramente pesimistas, sin incorporar el incremento de precio de la energía e incluir los sistemas de mejora de la calidad del aire en los edificios del ICE, vemos que tenemos una oportunidad interesante para crear una red de climatización por distrito para los edificios del ICE con una rentabilidad adecuada para una gestión pública, en este caso propia del ICE.

La falta de disponibilidad de recursos naturales (lago, mar), y el desconocimiento relativo a las condiciones del Río Torres, que podría suponer una fuente interesante de frío natural, no impide que podamos justificar la implementación de una red de enfriamiento que con las condiciones actuales mejoren los costos y en el consumo energético asociado a la producción de frío para climatización de edificios del ICE en análisis.

De confirmar que el río Torres tiene caudal suficiente a lo largo de todo el año, sería necesario extraer 70 litros por segundo de agua del río, con un salto térmico de 6°C, para poder condensar las enfriadoras que cubren la demanda base. Esta acción permitiría mejorar los indicadores financieros del proyecto.

La gran disponibilidad de cubiertas libres en los edificios del ICE sugiere la incorporación de sistemas fotovoltaicos. La generación eléctrica fotovoltaica coincide con las demandas de climatización, por lo que la electricidad producida se utiliza en modo de autoconsumo. El costo de esta electricidad resulta más económico que la tarifa eléctrica por lo que la instalación fotovoltaica añade valor al esquema planteado.

Sin embargo, uno de los riesgos asociados es la existencia del consumo ancla (JMDO) como fase final del proyecto. Es imprescindible garantizar que este consumo pueda asociarse a la red en un futuro, y así garantizar su rentabilidad. El hecho que el propietario de los edificios y de la red sería el mismo – ICE - permite garantizar una buena gobernabilidad de la red.

**Se recomienda enfocar la dedicación en cuestiones de estructuración y organización del proyecto, para posteriormente retomar las cuestiones técnicas e ingenieriles con mayor detalle.**

En este sentido, sería necesario determinar las voluntades y roles de las partes interesadas, incluyendo en primer lugar el propio ICE, para luego, definir el modelo de propiedad y de inversión para el desarrollo del sistema de Distrito de Frío y analizar las opciones de financiamiento. Dadas las capacidades del ICE y su posición en el sector energético de Costa Rica, se recomienda que el proyecto se promueva, gestione y opere desde el propio ICE.

Este estudio se ha ceñido exclusivamente a los edificios del ICE en Sabana Norte, de acuerdo con el alcance acordado inicialmente. Sin embargo, en el mismo ámbito se encuentran grandes edificios propiedad de terceros, como son hoteles o el centro de convenciones, entre otros. Desde el punto de vista técnico, estos edificios son susceptibles a recibir el servicio del Distrito de Frío planteado, mientras que desde el punto de vista económico su inclusión muy probablemente mejoraría los resultados de explotación. Su inclusión necesitaría cierta ampliación de capacidades de producción y de distribución. Se recomienda tener presente la opción de evolucionar el sistema de Distrito de Frío de Sabana Norte de un sistema institucional, interno del ICE, a un sistema comercial que ofrece el servicio a terceros.

En los futuros trabajos de ingeniería a realizar, es necesario tener siempre presente que el aumento del salto térmico en la red de distribución aporte beneficios con la disminución de los costos operativos. Por esto, se recomienda diseñar los componentes de climatización, de los edificios que necesitan conversión, bajo criterios de maximización del salto térmico en la red de distribución.

## Anexo 1 Costos de conversión de edificios

En este anexo se expone la valoración de costos para la conversión de los edificios para que puedan conectarse al sistema de Distrito de Frío.

Los costos necesarios para la adecuación de los edificios existentes del ICE se han analizado por profesionales del ICE. Los valores procedentes de los datos facilitados por los profesionales del ICE se han interpretado en el contexto de un sistema de climatización centralizada a nivel de edificio o Distrito de Frío. A continuación, se expone el procedimiento aplicado y los resultados obtenidos.

Tabla 15: Costos específicos de intervención en edificaciones. Fuente ICE

Estimación del ICE - 11/06/2021				
Capacidad Frigorífica promedio	675,06	BTU/h*m <sup>2</sup>	0,2	kW/m <sup>2</sup>
Costo Promedio por kW instalado (\$)	1.191,5	\$/kW	238,3	\$/m <sup>2</sup>

Aquí se puede observar que:

- El valor de la inversión media se sitúa a 1.191,5 \$/kW.
- La capacidad de promedia se ha evaluado a 675 BTU/h y por m<sup>2</sup>, o aproximadamente 200 W/m<sup>2</sup>. Este es el valor promedio de los equipos actualmente instalados. Los sistemas minisplit, multisplit casete casi siempre son sobredimensionados ya que no se hace un dimensionamiento detallado y se instalan equipos según las capacidades disponibles en los catálogos de fabricantes que a menudo no responden con exactitud a las necesidades; por lo que se escogen modelos de mayor capacidad.
- A partir de la capacidad frigorífica promedio y la superficie total climatizada, se obtiene la capacidad total instalada de climatización que asciende a 7.097 kW.

Antes de entrar a ajustar este valor, se expone la información completa facilitada por el ICE:

Tabla 16: Costos estimados de intervención en edificaciones. Fuente ICE

INMUEBLE	AREA TOTAL (m <sup>2</sup> )	AREA OFICINAS (m <sup>2</sup> )	EQUIPOS (\$)	INSTALACIÓN MECÁNICA (\$)	INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CONTROL (\$)	MANO DE OBRA (\$)	MONTO TOTAL (\$)
BLOQUE A	5.300	3.788	497.563	197.894	65.041	132.484	892.982
BLOQUE B	4.200	2.880	378.295	150.458	49.450	100.727	678.931
PROVEEDURÍA	2.000	1.276	167.606	66.661	21.909	44.628	300.804
MUSEO Y FGA	1.680	1.080	141.861	56.422	18.544	37.773	254.599
IC	5.370	4.510	592.399	235.613	77.438	157.736	1.063.186
DIPOA	11.850	9.700	1.274.119	506.752	166.551	339.254	2.286.676
JMDO	20.100	12.250	1.609.067	639.970	210.336	428.439	2.887.812



Tabla 19: Costos específicos de intervención en edificios de del ICE, por conceptos.

INMUEBLE	EQUIPOS (\$/m <sup>2</sup> )	INSTALACIÓN MECÁNICA (\$/m <sup>2</sup> )	INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CONTROL (\$/m <sup>2</sup> )	MANO DE OBRA (\$/m <sup>2</sup> )	MONTO TOTAL (\$/m <sup>2</sup> )
BLOQUE A	83	33	11	22	149
BLOQUE B	82	32	11	22	146
PROVEEDURÍA	69	27	9	18	123
MUSEO Y FGA	86	34	11	23	154
IC	77	31	10	20	138
DIPOA	86	34	11	23	154
JMDO	85	29	9	19	142
TOTAL	83	33	11	22	149