



Caso de estudio - Proyecto piloto

Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS)

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 CCSS:

Oscar Fernando Carvajal Brenes, Ing. Electromecánico AMIEI

Fabián Brenes Romero, Coordinador Equipo Industrial AMEI

Rony Ruiz Jiménez, Jefe Área Mantenimiento Infraestructura y Equipos Industriales DMI.

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

ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES	4
RESUMEN EJECUTIVO	5
1 INTRODUCCIÓN	8
1.1 ANTECEDENTES.....	8
1.2 GENERALIDADES SOBRE DISTRITOS DE FRÍO	10
1.2.1 <i>Proceso de desarrollo</i>	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.4 ALCANCE	13
2 CLIMATOLOGÍA.....	13
3 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES.	16
3.1 EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE FRÍO ACTUALES PARA LOS EDIFICIOS DE CCSS.....	17
3.1.1 <i>Hospital de Niños</i>	17
3.1.2 <i>Hospital San Juan de Dios</i>	20
4 EVALUACIÓN DEL MERCADO POTENCIAL PARA EL DF	22
4.1 EVALUACIÓN DE DEMANDAS DETALLADAS DE FRÍO	22
4.1.1 <i>Herramienta de modelado dinámico</i>	22
4.1.2 <i>Datos meteorológicos</i>	23
4.1.3 <i>Geometría del edificio y características constructivas</i>	23
4.1.4 <i>Consideraciones de operación</i>	24
4.2 DEMANDAS DE CLIMATIZACIÓN	24
4.3 RESULTADOS FINALES	28
4.4 CONSUMOS ELÉCTRICOS	29
4.5 MONÓTONAS DE DEMANDA	30
4.6 CAPACIDAD DE EDIFICIOS PARA LA CONVERSIÓN A DF	30
4.7 PROYECCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE FRÍO	34
5 ARQUITECTURA DEL SISTEMA Y OPCIONES TECNOLÓGICAS	35
5.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA Y OPCIONES TECNOLÓGICAS	35
5.2 PRODUCCIÓN	35
5.2.1 <i>Sistema de DF convencional</i>	36
5.2.2 <i>Sistema de DF con enfriamiento gratuito con agua de mar profundo (SWAC)</i>	36

5.2.3	<i>Sistema híbrido</i>	37
5.3	ARQUITECTURA DEL SISTEMA PROPUESTO PARA EL CONJUNTO DE HOSPITALES CCSS.....	38
5.4	TIPOLOGÍAS Y NECESIDADES DE CENTRALES DE PRODUCCIÓN DE FRÍO	41
5.5	RED DE DISTRIBUCIÓN	45
5.6	ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA (ETS).....	48
5.6.1	<i>ETS con Intercambiador de calor</i>	48
5.6.2	<i>ETS de conexión directa</i>	49
5.7	OPCIONES TECNOLÓGICAS - FUENTES	50
5.7.1	<i>Electricidad</i>	50
5.8	INVERSIÓN	50
5.9	AHORRO EN COSTOS DE OPERACIÓN.....	54
5.9.1	<i>Consumos energéticos caso base y caso de Distrito de Frío</i>	54
5.10	COSTOS EVITADOS	56
5.11	RESULTADOS FINALES	56
6	PARTES INTERESADAS	60
7	MODELO DE PROPIEDAD Y MODELO DE NEGOCIO	60
8	IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES	64
1.1	CONTRIBUCIÓN DE DISTRITOS DE FRÍO AL CUMPLIMIENTO DE POLÍTICAS AMBIENTALES DEL PAÍS.....	64
1.2	REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA CLIMATIZACIÓN DE LOS HOSPITALES DE CCSS EN EL DISTRITO TERCERO DEL CANTÓN DE SAN JOSÉ	66
9	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	68
9.1	IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y CONFIANZA DEL USUARIO.....	68
9.2	ESTRUCTURACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS Y FINANCIACIÓN DEL DESARROLLO	68
9.3	SATURACIÓN DE LOS ESPACIOS DE PASO DE LA RED	68
9.4	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD DE INTERVENCIÓN EDIFICIOS PATRIMONIALES.....	68
9.5	IMPOSIBILIDAD DE CONVERSIÓN DE DETERMINADOS EDIFICIOS.....	69
9.6	RIESGO OPERACIONAL	69
10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
10.1	SISTEMA PROPUESTO	70
10.2	INVERSIONES NECESARIAS Y RESULTADOS FINANCIEROS	71
10.3	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	71

Acrónimos y Abreviaciones

BAU – *Business As Usual* – soluciones convencionales

CAPEX- Costos de inversión

CCSS – Caja Costarricense de Seguro Social

COP – Coeficiente de desempeño (Coefficient of Performance)

DF – Distrito de Frío

DN – diámetro nominal

DX – Sistemas de expansión directa

EBAIS – Equipos Básicos de Atención Integral en Salud

ETS – Estación de transferencia de energía

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

ICE – Instituto Costarricense de Electricidad

IPCC – *International Panel for Climate Change* – Panel Internacional de Cambio Climático de la ONU

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 cambio climático

PVP – Puesto de Visita Periódica

SAO – Sustancias agotadoras de ozono

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

HSJD – Hospital San Juan de Dios

SPV – Vehículos de Propósito Especial (*Special Purpose Vehicle*)

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

UCI – Unidad de cuidados intensivos

RESUMEN EJECUTIVO

El conjunto de hospitales entendido como – el Hospital de San Juan de Dios y el Hospital Nacional de Niños, ambos de la Caja Costarricense de Seguro Social, fueron seleccionados como uno de los casos de estudio dentro de la exploración del potencial para introducir Distritos de Frío en Costa Rica. Las instalaciones de climatización de los dos hospitales presentan una situación heterogénea, operando aproximadamente la mitad con grandes enfriadoras y agua helada, y otra mitad con sistemas individuales de expansión directa. El grado de descentralización es mayor en el Hospital Nacional de Niños.

Los dos hospitales cuentan con planes de ampliación que permite realizar una previsión de nuevas demandas de frío. La demanda total existente corresponde a 3.360 kW de capacidad y 7.380 MWh de frío al año, y la nueva demanda total prevista corresponde a 1.500 kW de capacidad y 3.300 MWh de frío al año, estimada a partir de las previsiones de ampliación. La suma total asciende a 4.860 kW de capacidad y 10.680 MWh anuales.

En el entorno de los hospitales no se ha encontrado ninguna fuente apta para poder plantear un sistema híbrido o de “free cooling”.

La configuración propuesta del sistema de Distrito de Frío del conjunto de hospitales de la CCSS consiste en: una planta de producción situada en el área del hospital San Juan de Dios propuesto por los profesionales de CCSS, contigua al emplazamiento de los chillers existentes. La producción se realizaría con tres enfriadoras eléctricas de carga base, de una capacidad total de 3.300 kW con tres torres de enfriamiento separadas, de una capacidad total de 4.125 kW, y una enfriadora eléctrica de carga punta que es unidad integrada refrigerada por aire con una capacidad de 1.000 kW. La capacidad total prevista es de 4.300 kW. Se propone mantener las dos enfriadoras existentes en el hospital de San Juan de Dios, como respaldo en la arquitectura de sistema sugerida. El resto de los equipos existentes quedarían fuera de servicio.

Se propone realizar la distribución de agua helada por las cubiertas de los edificios, a semejanza del actual sistema de distribución de vapor, ya que la densidad de ocupación de terrenos por los edificios no permite una ruta clara para un trazado soterrado; puntualmente se valoran algunos tramos soterrados. La longitud total considerada de la red es de 1.380 m. En el caso de proceder con las siguientes fases del estudio será necesario abordar el trazado de la red en mayor detalle y a partir del trabajo de campo. El salto térmico de la distribución considerado es de 6 °C. No se ha contado con un salto térmico mayor para poder compatibilizar los elementos de distribución interior y difusión existentes. En la fase de desarrollo de ingeniería cabe intentar optimizar el salto térmico, si las instalaciones existentes lo permiten.

Se recomienda utilizar las ETS con conexión indirecta, con intercambiadores de calor. La distribución interna en algunos edificios o espacios puede ser compleja por la falta de espacios adecuados. Esto es especialmente acusado en los espacios con una altura limitada. Por esto se recomienda trabajar con ductos de textil en la impulsión de aire de climatización.

La inversión necesaria total es de 5.560.000 US\$, repartida entre: aumentar la capacidad de producción de agua helada - 2.608.300 US\$, construir la red de distribución -1.644.000 US\$, instalar las estaciones de transferencia - 243.000 US\$, convertir los edificios existentes, que actualmente operan con unidades de expansión directa, al sistema centralizado a agua helada – 1.150.108 US\$.

Para el cálculo de indicadores económicos y financieros se consideran diferentes ahorros resultantes de operar con el sistema de distrito de frío. Se incluyen los ahorros eléctricos relativos al aumento de eficiencia y así un menor consumo de electricidad de los sistemas que suministran los espacios de los hospitales abastecidos actualmente con los sistemas de expansión directa, en total unos 385.700US\$ al año. También se incluyen en el cálculo los costos evitados como: la reducción de costos de mantenimiento, la inversión por la sustitución de diversos equipos de climatización de expansión directa cuando se acabe su vida útil, costo de un nuevo sistema de agua helada que cubriría las ampliaciones previstas de los dos hospitales, y costos de sustitución de las enfriadoras existentes al final de su vida útil.

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 para 20 años, 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 obtienen los siguientes indicadores financieros: la tasa interna de retorno del 10,3%, un tiempo de retorno de inversión del proyecto de 10 años, y el valor actual neto (VAN) de 1.841.895 US\$.

Además de una solución económicamente competitiva, la introducción de un distrito de frío en el conjunto hospitalario aportaría beneficios medioambientales ya que supone una reducción del contenido de gases refrigerantes con un alto potencial de calentamiento global, de las actuales 3.070 tCO₂ equivalente a menos de 4 tCO₂ equivalente, ya que se plantea la sustitución de prácticamente todos los equipos de aire acondicionado reducción , considerando que las enfriadoras del distrito de frío operaran con refrigerante tipo HFC o refrigerantes naturales que tienen muy bajo potencial de calentamiento global. La reducción del impacto por fugas de refrigerante pasará de unas 255 tCO₂ al año a prácticamente cero.

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 agente principal es la propia CCSS. Entre las partes interesadas hay que contar con la municipalidad, ya que la red de distribución tendrá que pasar por vía pública.

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 de CCSS en el cantón de San José.

En cuanto a los riesgos identificados las consideraciones de protección de edificios patrimoniales o eventuales limitaciones en la distribución interna en los edificios, debido a la falta de espacio o de altura para ubicar circuitos hidráulicos o de aire, representan riesgos más destacables en este caso. También se identifican algunos otros riesgos, entre los que destacan: de estructuración de las partes interesadas y financiación del desarrollo, de

planificación y coordinación, y riesgos operacionales que comporta una actividad de crítica que necesita garantizar un servicio adecuado 24/365.

Se identifican algunas opciones de optimización técnica del sistema que se recomienda examinar en próximas fases del proyecto. La primera cuestión es aprovechar el calor residual de las calderas de vapor mediante la instalación de un recuperador de calor de gases de combustión. Su capacidad probablemente sea limitada a aproximadamente 1 MW pero podría accionar el funcionamiento de una enfriadora de absorción. Sería necesario verificar el régimen de operación de las calderas, su constancia y coincidencia con las demandas de frío, así como la previsión de permanencia de esta instalación en su sitio actual. La segunda cuestión es la de examinar la opción de sustituir una de las unidades enfriadoras propuestas por una bomba de calor (capacidad de refrigeración de 1.100 kW / capacidad de calefacción de 1.540 kW) para la producción y suministro de agua caliente en lugar de vapor, de esta forma la unidad podría proporcionar tanto frío como calor, a una mejor eficiencia si se demanda simultáneamente calor. Estas opciones no se han considerado en el cálculo de indicadores económicos y financieros ya que hoy en día existen incógnitas respecto a su aplicabilidad que no se han podido despejar.

Finalmente, como siguiente fase de promoción del proyecto piloto de la CCSS se recomienda focalizar la dedicación en cuestiones de estructuración y organización del proyecto, para posteriormente retomar las cuestiones técnicas e ingenieriles con más detalles.

En este sentido, sería necesario determinar las voluntades y roles de las partes interesadas, incluyendo en primer lugar la propia CCSS. Si fuera de interés de la CCSS se puede verificar el interés de empresas de servicios energéticos, locales o internacionales, para participar en el proyecto. En tal caso cabría empezar por verificar el interés de la empresa pública de generación y suministro eléctrico ICE, que ya ha mostrado el interés en las infraestructuras energéticas tipo Distritos de Frío. Luego, definir el modelo de propiedad y de inversión para el desarrollo del sistema de Distrito de Frío y analizar las opciones de financiación.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

La Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) es la institución pública encargada de la seguridad social en la República de Costa Rica. CCSS proporciona los servicios de salud de forma integral al individuo, la familia y la comunidad, y está encargada de otorgar la protección económica, social y de pensiones, conforme la legislación vigente, a la población costarricense. La institución gestiona 29 hospitales de diferente perfil: desde hospitales especializados, nacionales hasta periféricos, además de 105 Áreas de Salud compuesto por 526 sedes de EBAIS y otros 543 PVP.

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, siendo una de ellas de la CCSS.

Inicialmente, se han considerado dos zonas hospitalarias; el área hospitalaria San José en el distrito Hospital, distrito tercero del cantón de San José y el Hospital México en el distrito la Uruca. La primera ha sido seleccionada como proyecto piloto con la ambición de introducir el sistema de Distritos de Frío en Costa Rica.

De esta, podemos destacar que cuenta con un sistema de producción de vapor centralizada para varios hospitales, y que se encuentra en una zona céntrica con gran potencial de crecimiento más allá de los hospitales propios de la CCSS.



Gráfico 1: Foto aérea del ámbito de estudio. Fuente: Google maps

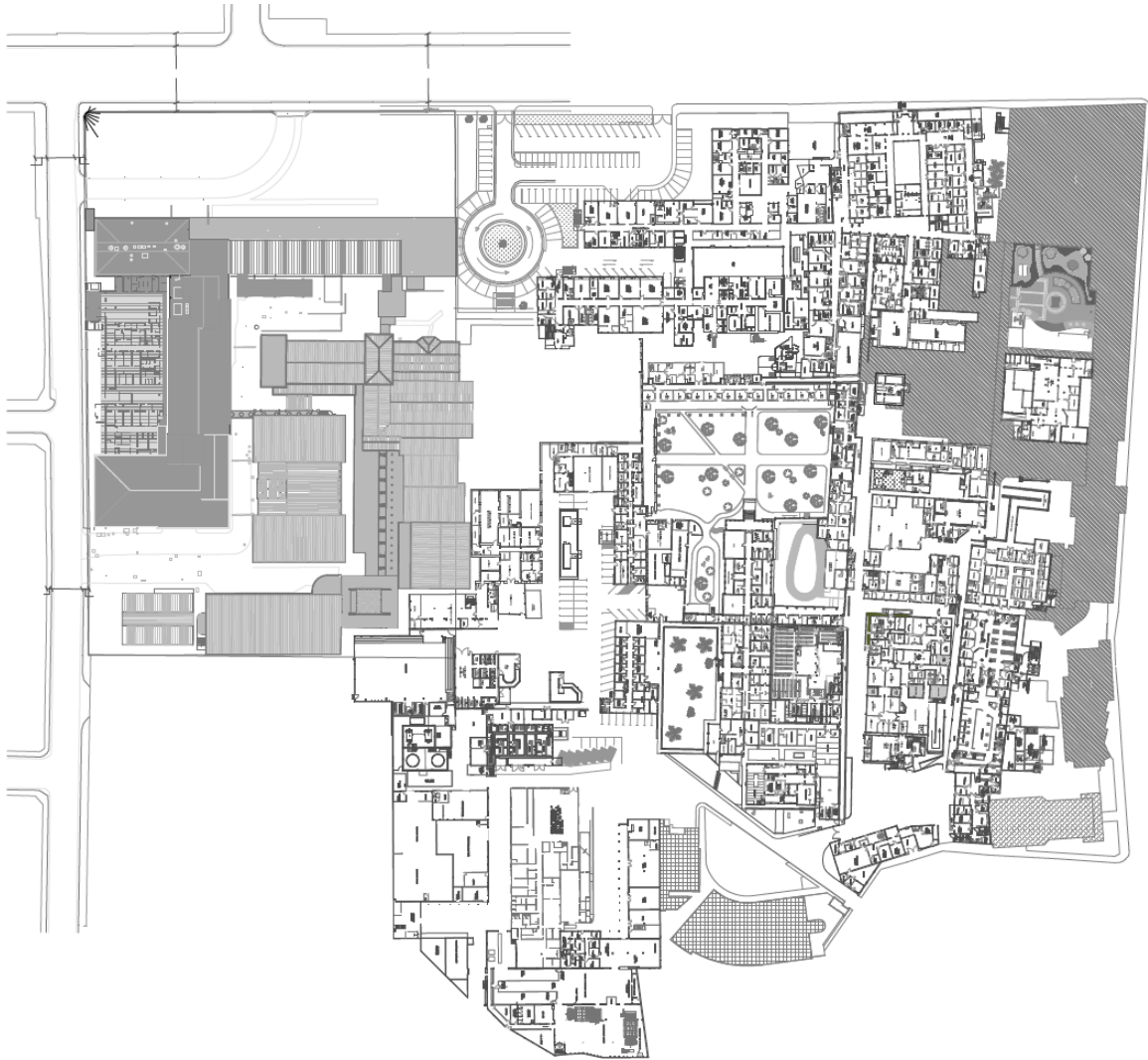


Gráfico 2: Ámbito de estudio. Fuente: CCSS

1.2 Generalidades sobre Distritos de Frío

Un Distrito de Frío (DF) consiste 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 utilizan fuentes naturales, como agua de mar, lagos, ríos, o subterránea, así como el exceso de calor de procesos industrial a través del uso de enfriadores por absorción para producir frío. También utilizan enfriadoras eléctricas convencionales de alta eficiencia.

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, la refrigeración se transfiere a los edificios a través de las estaciones de transferencia de energía (ETS).

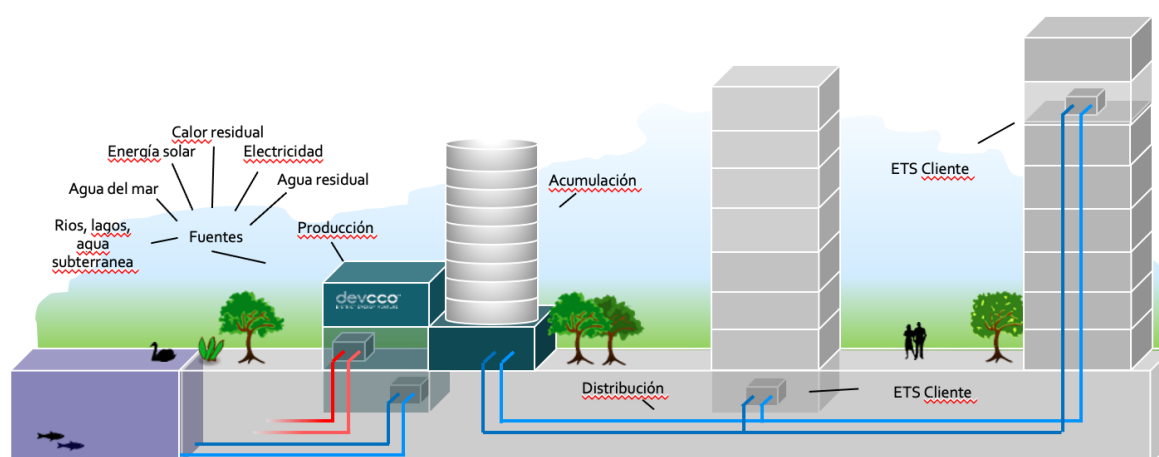


Gráfico 3: Sistema de Distrito de Frío

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 resumen 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.

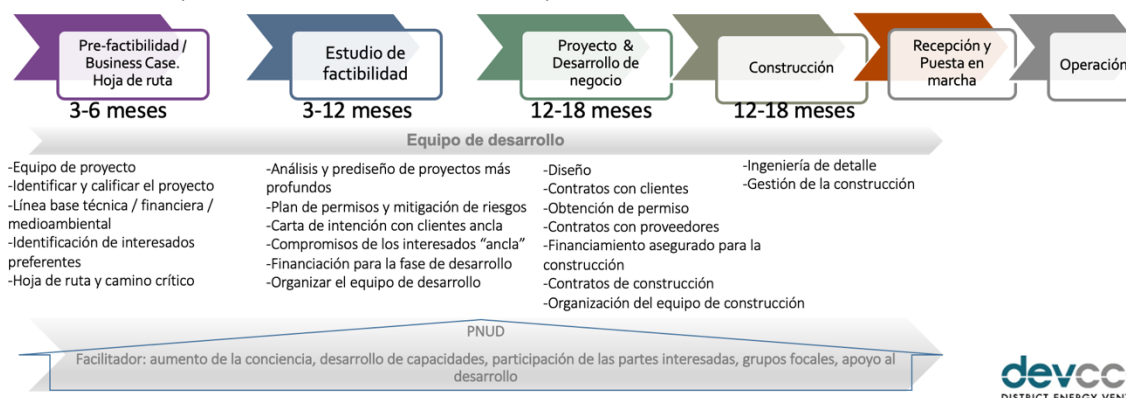


Gráfico 4 : Fases del desarrollo del proyecto típico de DF

Por lo general, en este tipo de proyectos los principales retos y barreras son los siguientes:

- 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

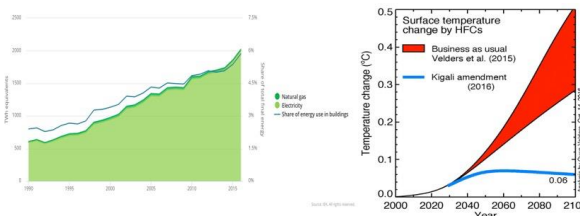
- Compromiso mundial
- Protocolo de Montreal y su Enmienda de Kigali Nov-2016

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 5: Tendencias de demandas de aire acondicionado

1.2.1 Proceso de desarrollo

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 de mercado.
- Introducción de la técnica de Distritos de Frío y la lógica empresarial.
- Marco regulatorio; Revisión preliminar de la reglamentación tributaria para importación.
- Evaluaciones de las partes interesadas
- Identificación de un proyecto piloto potencial y sus candidatos relacionados para introducir los Distritos de Frío en Costa Rica.
- 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 15 meses, incluidas varias reuniones mantenidas con representantes de CCSS.

1.3 Objetivos

El objetivo es realizar el estudio inicial, más detallado que el preanálisis realizado anteriormente, con tal de determinar la prefactibilidad para su promoción como proyecto piloto, con la ambición de introducir el sistema de Distritos de Frío en Costa Rica. Este objetivo comprende: una definición técnica del sistema de Distrito de Frío, la valoración económica correspondiente y la evaluación de indicadores financieros.

1.4 Alcance

El alcance de este estudio es realizar un preanálisis conceptual del potencial para desarrollar un Distrito de Frío en el sector hospitalario, acorde con la metodología de 6 etapas, detallada a continuación.

Estudio de mercado: proyección de demandas energéticas y capacidades de enfriamiento del ámbito del piloto. Dimensionamiento 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.

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-dimensionamiento, estimación del área de terreno necesaria para la central, topología de la red de distribución, pre dimensionado de la red de distribución y 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

San José se encuentra a 1.172 metros sobre el nivel del mar, y tiene un clima tropical. La lluvia es significativa 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 Am¹. 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

¹ 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.

temperaturas como de lluvia. La temperatura promedio anual en San José es 19,5 °C, y la precipitación anual es de 2.699 mm.

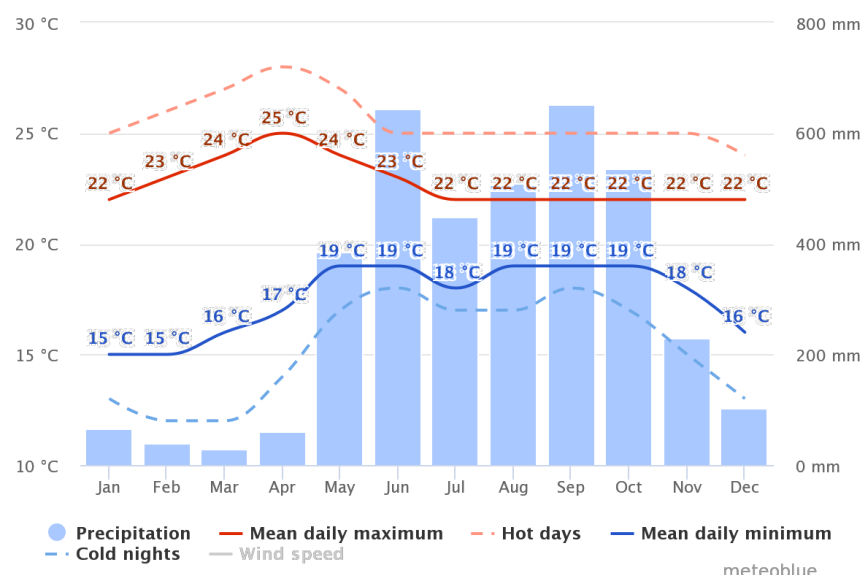


Gráfico 6: Temperaturas máximas y mínimas. Fuente: Meteoblue

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 para generar 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 gráfico siguiente observamos como la humedad relativa oscila entre el 80-90%.

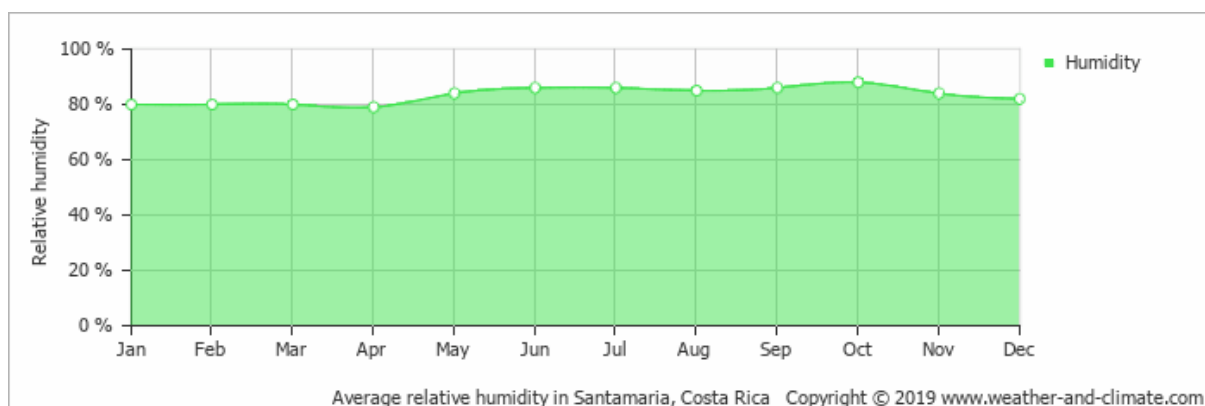


Gráfico 7: Humedad relativa promedio. Fuente: weather-and-climate.com

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 (guanacas solares, ocupación por personas, disipación de iluminación y de equipos ofimáticos, etc.) ya tenemos un número importante de horas en las que se requiere enfriar y/o deshumectar el ambiente interior.

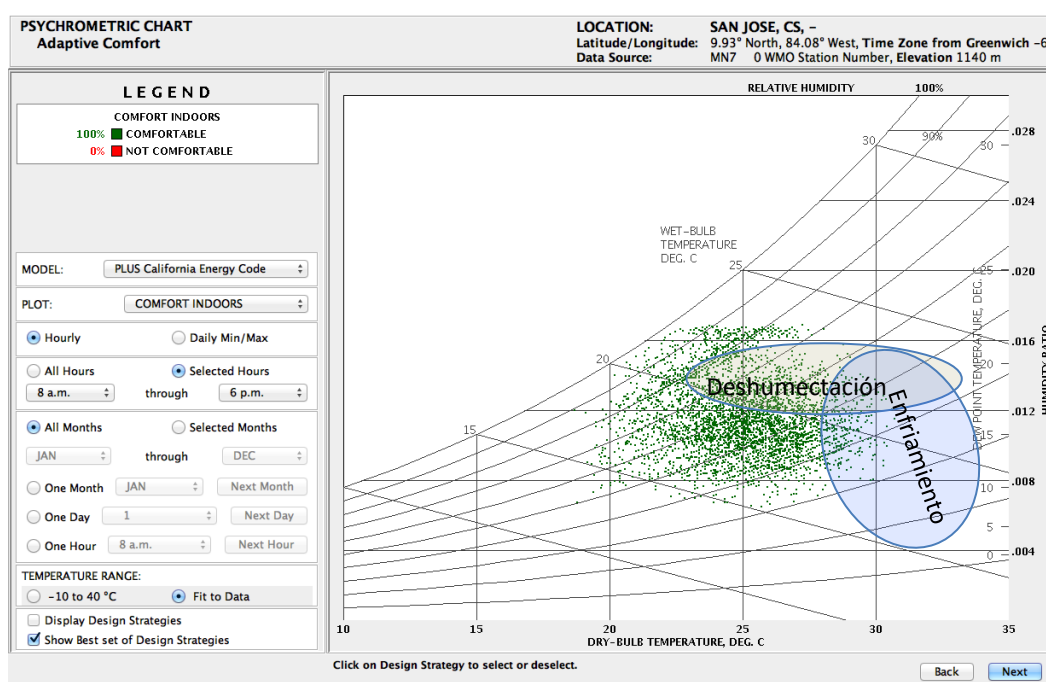


Gráfico 8: El diagrama psicrométrico San José. Plantilla de Climare Consultant, elaboración propia

San José se sitúa en una latitud de 9, 5° 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/m² año. Más

adelante, estos datos nos permitirán evaluar el potencial de producción de energía mediante la instalación de placas solares fotovoltaicas.

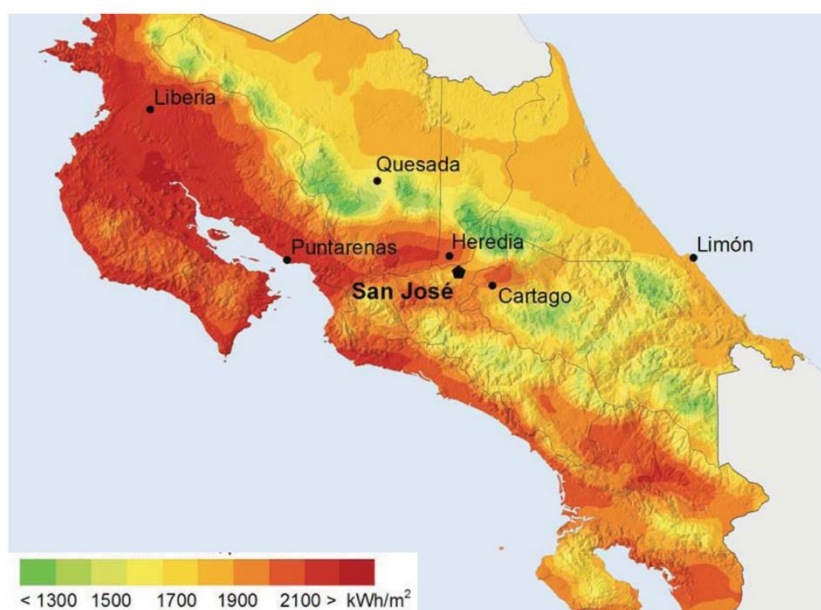


Gráfico 9: Radiación solar en Costa Rica. Fuente: Solargis

3 Descripción de las tecnologías disponibles.

- Sistemas centralizados: se caracterizan por una producción de frío, centralizada a nivel de edificio o conjunto de edificios, donde se utilizan equipos – enfriadoras o bombas de calor – que producen agua helada la cual se distribuye por todo el edificio hacia unidades terminales, o abastecen UMAs centralizadas que enfrían el aire el cual es distribuido mediante ductos por todo el edificio. Según la información recopilada, los dos hospitales de CCSS analizados operan parcialmente con esta tipología de sistemas de aire acondicionado.
- Sistemas descentralizados: tales como los sistemas divididos o los equipos sin ductos, son fundamentalmente diferentes de los sistemas con ductos en que el calor se transfiere mediante la circulación de refrigerante, a menudo refrigerantes HCFC y HFC, desde las unidades condensadoras hasta los evaporadores ubicados cerca o dentro del espacio acondicionado. Los sistemas VRV / VRF son versiones grandes y complejas de sistemas multi-split sin ductos, con la capacidad adicional de conectar unidades fan-coils con ductos. Estos últimos por tanto son más sofisticados que los sistemas divididos, tienen múltiples compresores y muchos evaporadores que se colocan principalmente en la azotea. Demandan sistemas complejos de gestión y control de aceite y refrigerante. Como otras desventajas es la gran cantidad de refrigerante que circula por los espacios acondicionados, y que una vez instalado VRV / VRF, el edificio se

convierte en un cliente cautivo para este tipo de sistemas en general y con frecuencia cautivo de un único fabricante.

- Una barrera relevante para la introducción de la climatización por distrito y para la eliminación progresiva de HFC y HCFC es el amplio uso de "sistemas divididos" o VRV / VRF (sistemas "multi-split") en edificios existentes y posiblemente también en los nuevos desarrollos.

3.1 Evaluación de sistemas de frío actuales para los edificios de CCSS

A continuación, se describen de manera resumida los resultados de las evaluaciones de los 2 hospitales:

3.1.1 Hospital de Niños



Gráfico 10: Esquema de edificios del hospital de Niños. Fuente: CCSS

Tres de los cuatro edificios de este hospital están equipados con plantas de refrigeración de agua helada centralizadas independientes, además de equipos de expansión directa individuales. En total son 345 TR o aprox. 1210 kW, distribuidos entre 3 equipos de 80 TR, más uno de 35 y otro de 70 TR. Las unidades de expansión directa y los sistemas VRV / VRF instalados suman una capacidad de 200 TR, o aproximadamente 700 kW. De esta forma, la proporción de sistema centralizado / descentralizado es distribuye en una proporción de un 60% y un 40% del total de 1910 kW.

Descripción de los edificios del hospital:

Edificio Tamizaje: 6 niveles, con una enfriadora de 70 TR - fecha de ingreso el 04 de abril de 2016.

Edificio especialidades Médicas: 5 niveles, con una enfriadora de 80 TR - fecha de ingreso el 08 de setiembre de 2014.

Edificio Hospitalización: 6 niveles, en dos edificios: edificio A y edificio B, los equipos de climatización para este edificio se describen a continuación:

- Sala de operaciones: 2 x 80 TR - fecha de ingreso el 07 de abril de 2014 (ambos equipos).
- Calle 20, que cubre las demandas de farmacia y consultas externas: 35 TR - fecha de ingreso el 31 de enero de 2012
- Otros espacios: 8 equipos tipo paquete, 4 VRV, minisplits, rooftops

En este edificio las salas de operaciones se alimentan con 11 UMAs, y las salas de trasplantes con otras 4 UMAs.

El edificio CHAPUI: de uso administrativo, es patrimonio nacional. Contiene usos como: mantenimiento, servicios generales, ropería, proveeduría, atención al público – área social, oficinas y talleres de mantenimiento, informática, universidad (administración para estudiantes en prácticas). No está climatizado por lo general, pero si tiene algunos minisplits, en informática, vigilancia. Carga de aire acondicionado es baja por lo que no se considera como posible cliente del sistema de Distrito de Frío.

Los generadores eléctricos de respaldo de emergencia están instalados al lado de cada edificio. El hospital recibe vapor de calderas centralizadas ubicadas en el centro de la cuadra, en los terrenos del hospital San Juan de Dios.

Las tarifas eléctricas contratadas varían entre edificios, y son las siguientes: para los edificios Tamizaje y Especialidades médicas aplica la tarifa T-CO, y para el edificio hospitalización se utiliza la tarifa T-MT.

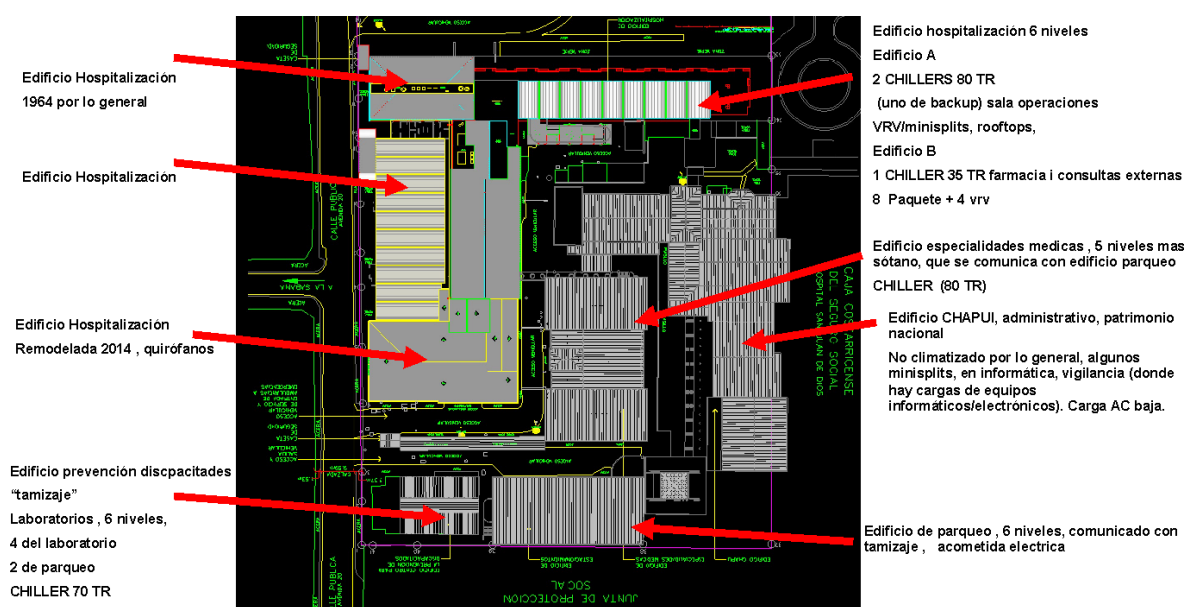


Gráfico 11: Distribución de espacios y equipos en el Hospital de Niños

La oficina de arquitectura e ingeniería de la CCSS está trabajando en un plan de abordaje de remodelaciones que afectará los edificios de Hospitalización y CHAPUI, dado que plantearía calendarizar la remodelación y criterios de diseño para la de climatización de estos edificios. Se prevé que la expansión del hospital tendrá una demanda adicional de 800 kW.

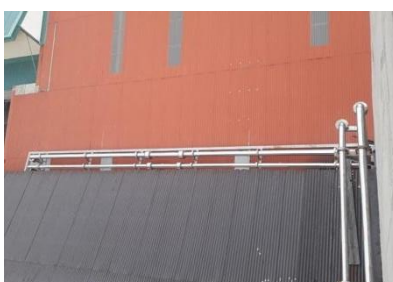
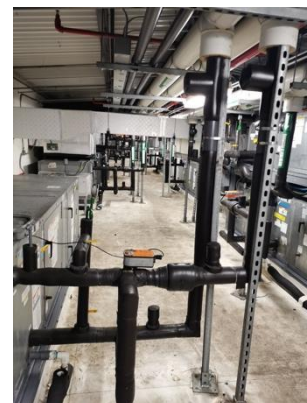


Gráfico 12: Equipos en el Hospital de Niños: edificio Tamizaje, fachada trasera del edificio Hospitalización, diferentes chillers, recorrido de las tuberías de vapor sobre las cubiertas, cuarto de UMAs enfriadas por una VRF/VRV, equipo VRF/VRV que alimenta UMAs. Fuente: Yoltic Zuñiga Gamboa

3.1.2 Hospital San Juan de Dios



Gráfico 13: Edificios catalogados como patrimonio

El hospital San Juan de Dios consiste de 39 edificaciones, muchas de ellas protegidas como patrimonio arquitectónico nacional. Actualmente unos 13.000 m² están climatizados. La parte centralizada del sistema de climatización del hospital San Juan de Dios consta de dos enfriadoras de marca Carrier de 600 kW cada una, lo que suma un total 1.200 kW en capacidad instalada. Las enfriadoras operan con el refrigerante R-410A. Cada enfriadora contiene 73,5 kg del refrigerante. R-410A que es una mezcla de HFC con un alto PCG de 2.088.

La climatización por equipos descentralizados consta de un gran número de equipos tipo split, multisplit y VRF / VRV correspondientes a aproximadamente 1.500 kW.

La capacidad total instalada es de unos 2.700 kW con una distribución entre los sistemas centralizado / descentralizado de entre un 45% y 55%.

Gráfico 14: Edificios y equipos en el Hospital San Juan de Dios: Edificios, Chillers y UMAs, equipos split, sistema de vapor: recorridos de la red de distribución y calderas de producción. Fuente: Yoltic Zuñiga Gamboa

4 Evaluación del mercado potencial para el DF

La evaluación del potencial mercado en esta fase inicial incluye la recopilación y combinación de datos disponibles de varias fuentes, como registro de edificios e inmuebles, equipos de frío, 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 hospitales de CCSS seleccionados se ha recopilado y evaluado mediante la realización de inventarios técnicos de los edificios. El resultado de la evaluación inicial de mercado se obtiene como producto del consumo de energía de referencia por unidad de espacio climatizado y el área identificada como climatizada, tanto para los mercados actuales como futuros. De los tres hospitales inicialmente identificados en el ámbito seleccionado, solo se ha podido trabajar con dos: el Hospital de Niños y el Hospital San Juan de Dios, dado que el Hospital Geriátrico Blanco Cervantes ha declinado la participación en esta fase del estudio. Sin embargo, esto no impide su adhesión más adelante.

4.1 Evaluación de demandas detalladas de frío

Los sistemas actuales presentan una topología de sistemas que complica la obtención de las demandas reales de frío de los edificios. Por este motivo, se han realizado simulaciones dinámicas detalladas para algunos espacios representativos de los hospitales para evaluar qué demanda de frío real existe en los mismos, que se tendrían que satisfacer con el sistema de distrito.

4.1.1 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 “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.

4.1.2 Datos meteorológicos

Los modelos energéticos de edificios en “Design Builder” utilizan datos meteorológicos para reproducir las condiciones ambientales exteriores. Los datos meteorológicos pueden obtenerse a partir de estaciones meteorológicas situadas en zonas cercanas a la posición de los edificios o mediante la extrapolación 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” de las estaciones meteorológicas ubicadas en el aeropuerto internacional Juan Santamaría de Alajuela, que es la más cercana disponible en las bases de datos de “METEONORM 7” y la más representativa, entre las disponibles, para el distrito tercero del cantón de San José. “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 con las previsiones del IPCC a 20 años vista. Este tipo de análisis es extremadamente interesante para proyectos a largo plazo, que tienen altos costos de inversión 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 eventualmente proponer ajustes en el diseño del sistema. Sin embargo, al tratarse de un estudio inicial, con un nivel de información de base todavía por consolidar, no procede entrar en este tipo de optimización detallada.

4.1.3 Geometría del edificio y características constructivas

En el modelo de simulación se ha simplificado con una geometría tipo paralelepípedo, de 6 plantas de altura, con un 40% de superficie vidriada – ventanas - con protecciones solares horizontales fijas (100 cm) por ventana. Esta forma corresponde, de forma aproximada a los edificios de Hospitalización o Tamizaje del Hospital de Niños.

En cuanto a las características constructivas, se han considerado los siguientes valores de transmitancia térmica:

- Muros exteriores: 3,17 W/m², K
- Cubiertas: 1,34 W/m², K

- Solera: 1,15 W/m², K
- Ventanas: 3,83 W/m², K

Es importante resaltar que, para edificios de uso hospitalario, que tienen superficies vidriadas acotadas y protegidas de la radiación solar, los parámetros como la densidad de ocupación por personas, equipos que representan cargas internas o horarios de operación tienen una influencia mucho más grande que la geometría en sí o las características constructivas.

4.1.4 Consideraciones de operación

Las consideraciones de diseño adoptadas, para diferentes usos de espacios, han sido las siguientes:

Tabla 1: Hipótesis generales utilizadas en el modelo de simulación

Control ambiental			General
Temperatura	T _{calefacción}	°C	20
	T _{refrigeración}	°C	24
Humedad	HR	%	40-60
Ventilación	Cabal	l/s·p	12.5
	RC		No
	Infiltraciones	ren/h	1.5

Tabla 2: Hipótesis generales utilizadas en el modelo de simulación

Cargas internas			Hospitalización	Consultas	Quirófanos
Uso edificio					
Ocupación	Horario		24h (lun-dom)	7-19h (lun-vie)	7-19h (lun-vie)
	Densidad	p/m ²	0.10	0.06	0.20
	Q·Sensible	W/p	70.00	70.00	70.00
	Q·Latente	W/p	70.00	70.00	70.00
Aparatos	Horario		24h (lun-dom)	7-19h (lun-vie)	7-20h (lun-vie)
	Q·Sensible	W/m ²	3.58	11.00	27.31
Iluminación	Horario		24h (lun-dom)	7-19h (lun-vie)	7-19h (lun-vie)
	Q·Sensible	W/m ²	12.00	12.00	12.00
HVAC	Horario		24h (lun-dom)	7-19h (lun-vie)	5-19h (lun-vie)

4.2 Demandas de climatización

Los resultados de demandas de frío y capacidades necesarias se han procesado en términos de valores específicos, por unidad de superficie. A continuación, presentan los calores obtenidos para cada uno de los tres usos supuestos.

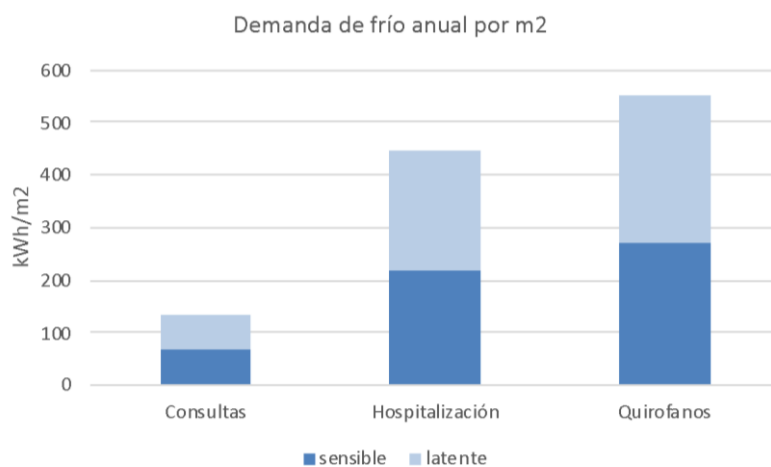


Gráfico 15: Resultados del consumo de frío anual por unidad de superficie, para diferentes usos

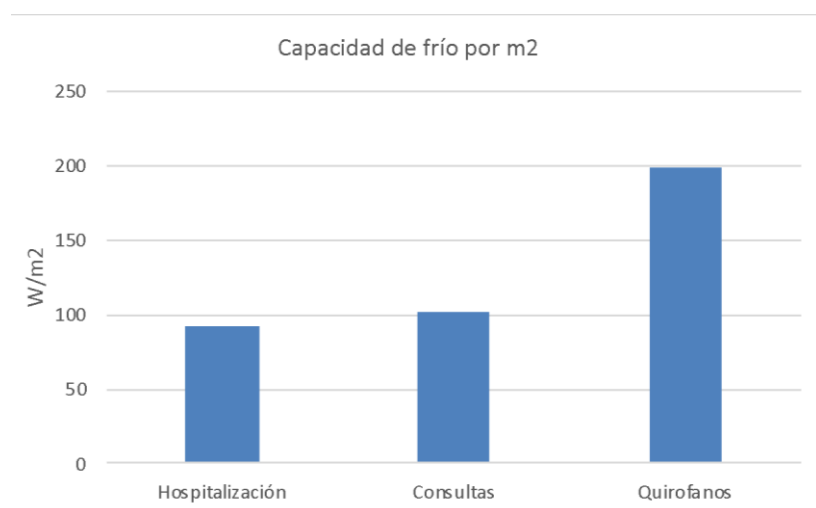


Gráfico 16: Resultados de la capacidad de frío requerida por unidad de superficie, para diferentes usos

Estos valores específicos se han aplicado a las superficies concretas de cada uno de los tres usos en cada uno de los edificios de los dos hospitales.

Tabla 3: Capacidades y consumos de frío por tipología de espacios

	Hospitalización o urgencias	Consultas (incluye consultas médicas, laboratorios u oficinas)	Quirófanos
Capacidad, W/m ²	90	100	200
Consumo de frío, kWh/m ² , año	445	130	550
Horas equivalentes de plena carga	4.944	1.300	2.750

Tabla 4: Capacidades y consumos de frío por espacios

	Área (m ²)	Hospitalización o urgencias	Consultas (incluye consultas médicas, laboratorios u oficinas)	Quirófanos	Capacidad (kW)	Consumo de frío MWh/año
Edificio/Proporción climatizada						
Hospital de Niños						
Edificio de Hospitalización	6.443	30%	45%	25%	786	2.123
Edificio de tamizaje	7.700	0%	100%	0%	770	1.001
Edificio de Especialidades médicas	2.800	0%	100%	0%	280	364
Subtotal	16.943				1.836	3.488
San Juan de Dios (SJD)						
Pie Diabético	28		100%		3	4
Ortopedia	900		100%		90	117
Medicina Nuclear	1000		100%		100	130
Oncología (Laboratorio)	200		100%		20	26
Quimioterapia 1	800		100%		80	104
UCI	520	100%			47	231
Hemodiálisis	168		100%		17	22
Maxilofacial	350		100%		35	46
Consulta externa de Ginecología	200		100%		20	26
Terapia	250		100%		25	33
Radioterapia	260		100%		26	34

Rayos X	720	100%			65	320
Laboratorios	50		100%		5	7
SJD subtotal Nivel 1, 2	5.446				532	1.099
Ingeniería	1.000		100%		100	130
Proveeduría	500		100%		50	65
Oficinas Administrativas	120		100%		12	16
Unidad Coronaria	340	100%			31	151
Unidad de Quemados	370	100%			33	165
Oncología Hombres	415	100%			37	185
Unidad de cuidados médicos	65	100%			6	29
Salas de Operación	1750			100%	350	963
Cirugía Ambulatoria	120		100%		12	16
Litotripsia	180			100%	36	99
Neurocirugía	520	100%			47	231
SJD subtotal Nivel 3	5380				714	2.049
Oficinas Administrativas	342		100%		34	44
Salas de Operación Maternidad	590			100%	118	325
Neonatos Edificios por remodelar	360	100%			32	160
Ultrasonido	150		100%		15	20
Gastroscopía	500		100%		50	65
Trasplante	300	100%			27	134
SJD subtotal Nivel 4, 7	2.242				277	747
SUMA TOTAL					3.359	7.382

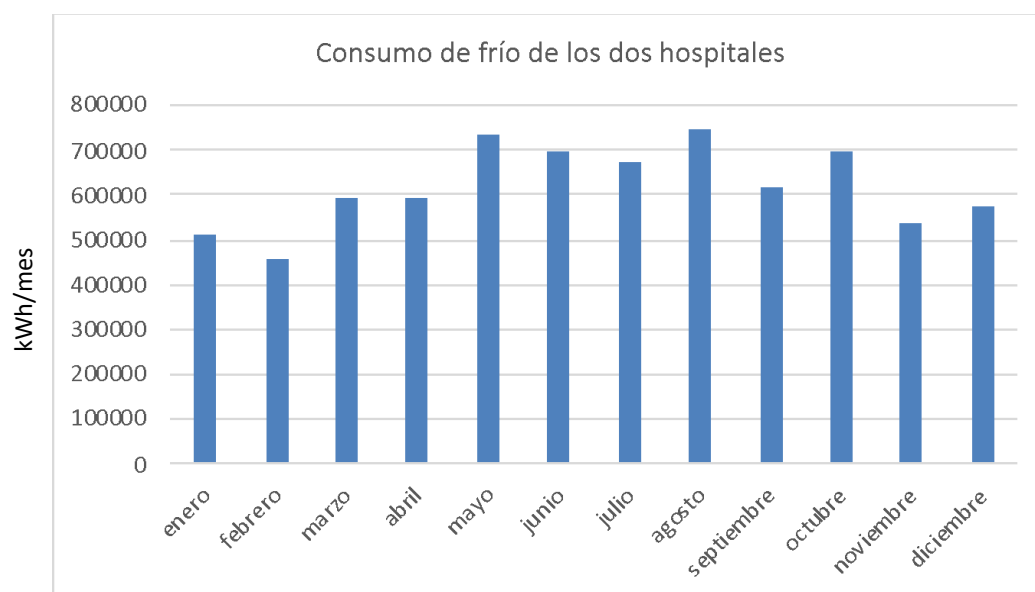


Gráfico 17: Resultados del consumo de frío mensual, para los dos hospitales

4.3 Resultados finales

A continuación, se presenta un resumen de los resultados aplicados a los edificios de los dos hospitales, y una propuesta cronológica para la conexión de los edificios en un eventual Distrito de Frío

Tabla 5: Resumen demandas-potencias

Demanda por edificios	Año de conexión	Capacidades de frío	Demandas de frío
Existente	año	kW	MWh
Edificio de Hospitalización	Año 1	786	2.123
Edificio de tamizaje	Año 1	770	1.001
Edificio de Especialidades médicas	Año 1	280	364
SJD SUM Nivel 1, 2	Año 1	532	1.099
SJD SUM Nivel 3	Año 1	714	2.049
SJD SUM Nivel 4, 7	Año 1	277	747
Suma demanda actual		3.359	7.382
Nuevo			
Nuevo edificio San Juan de Dios	Año 2	700	1.539

Nuevo edificio hospital Niños	Año 2	800	1.758
Suma demanda nueva		1.500	3.297
Grand total demanda		4.859	10.679

4.4 Consumos eléctricos

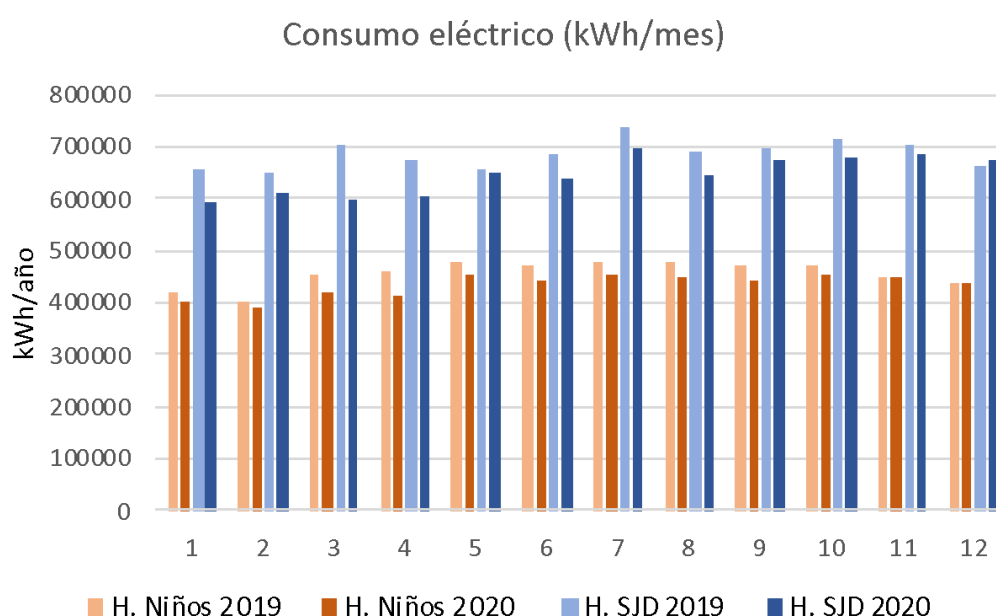


Gráfico 18: Consumos eléctricos mensuales de los dos hospitales para los años 2019 y 2020. Fuente: CCSS

A partir de los cálculos y simulaciones realizadas se estima que los consumos eléctricos empleados en cubrir demandas de climatización representan un 28% del consumo total eléctrico del complejo hospitalario San Juan de Dios y un 30% del Hospital de Niños. Estos porcentajes son un poco más bajos de lo que se podría esperar, pero teniendo en cuenta que en ambos hospitales hay una superficie considerable no climatizada, el resultado es coherente. En este sentido, solo un 43% de los cuatro edificios del Hospital de Niños (sin parqueo) es climatizado.

Según la información proporcionada por CCSS, el costo del año 2020 de electricidad para el Hospital de Niños ha sido de 0,154 \$/kWh, incluyendo el término fijo de capacidad y el variable, de consumo de energía.

4.5 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 dos hospitales, considerando su situación actual, para poder visualizar un eventual desarrollo en dos fases.

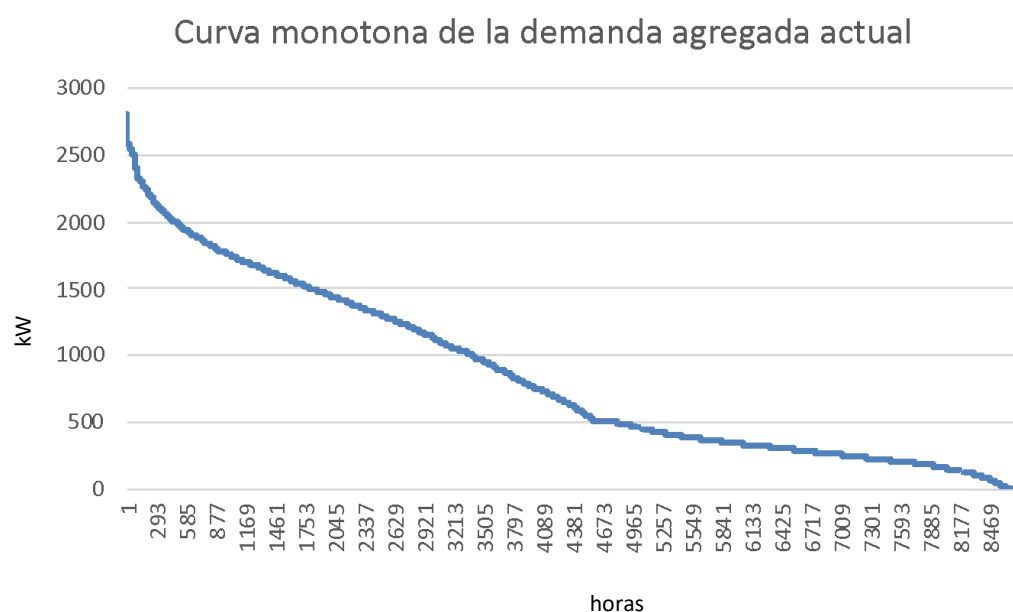


Gráfico 19: Monótona de demanda actual, sin edificios previstos a construir a futuro

4.6 Capacidad de edificios para la conversión a DF

La disponibilidad para cambiar a un servicio por Distritos de Frío dependerá en gran medida del tipo de sistemas de aire acondicionado existentes en los edificios de los usuarios potenciales, a veces en combinación con la vida técnica restante de dichos equipos instalados.

Una barrera para la introducción de un Distrito de Frío y para la eliminación gradual los refrigerantes peligrosos 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 tales edificios no hay un sistema interno de agua refrigerada o sistemas de ventilación por conductos que proporcionen un punto de conexión para el Distrito de Frío.

Una de las condiciones clave en este caso es la necesidad de adaptación para 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.

Las redes interiores de los edificios conectados a la red de distrito tienen que garantizar que el salto térmico entre impulsión y retorno se mantenga alto. Por ese motivo, es clave considerar buenos sistemas de regulación. Los cuales se describen gráficamente a continuación.

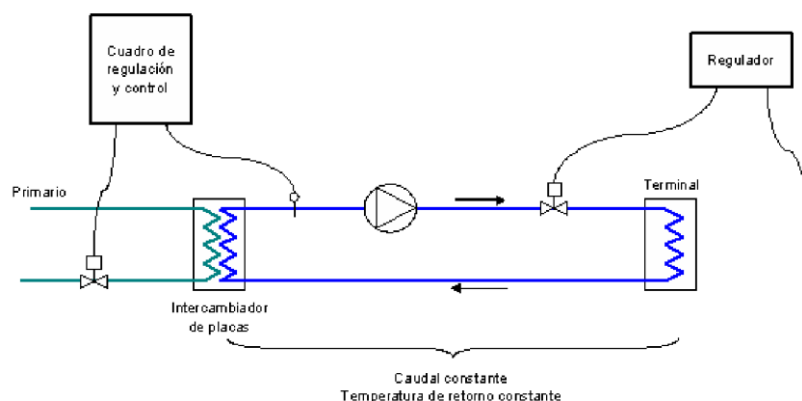


Gráfico 20: Esquema de conexión con un solo terminal

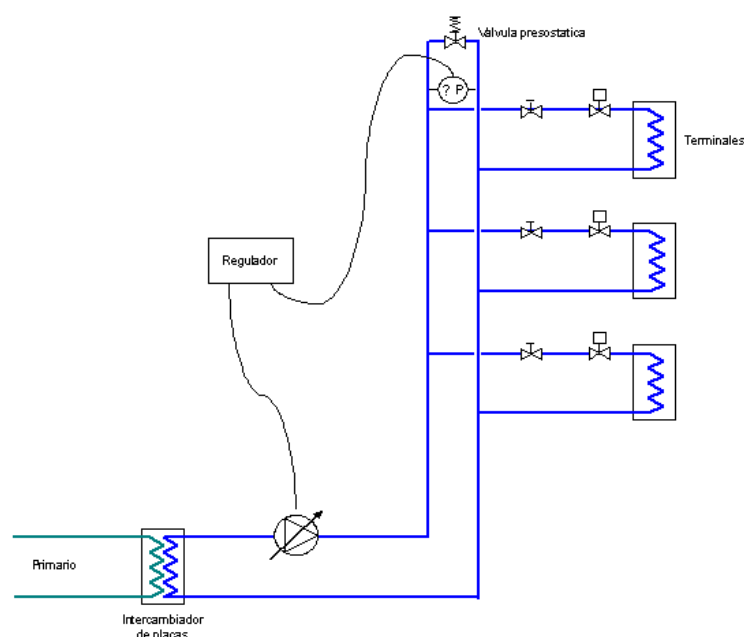


Gráfico 21: Esquema de conexión con distintos elementos interiores

Dentro de la distribución de agua helada interior del edificio será también de gran importancia la estructura de operación del sistema de bombeo. En el primer esquema a continuación se puede observar un tipo de conexión

que incluye un elemento donde se produce la mezcla entre la distribución y del retorno del circuito secundario, cosa indeseable ya que nos reduce el salto térmico en la Estación de Transferencia (ETS), mientras que dos esquemas a continuación son los correctos.

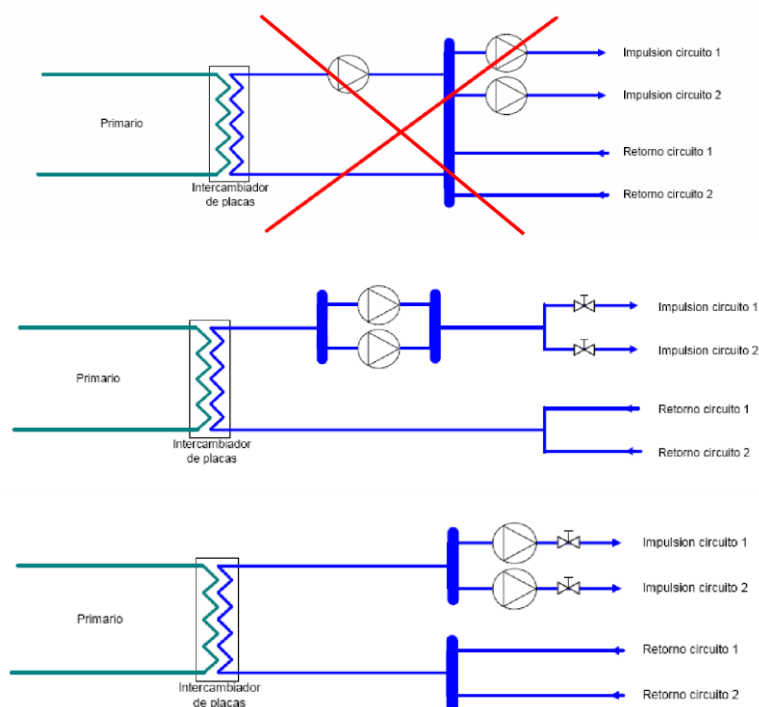


Gráfico 22: Esquemas posibles y no posibles de secundarios de edificio

Según los esquemas anteriores se han analizado los costes necesarios para la adecuación de los edificios existentes para conectar la red de distrito.

En esta adecuación se incorpora la opción de integrar, además, UMAs centralizadas, mejorando de manera significativa la calidad de aire y el confort de los usuarios. El costo total es de **132 \$/m²** de espacio útil. Este valor es suma de varias partidas, indicadas en la tabla siguiente:

Tabla 6: Desglose costes

Concepto	CAPEX (\$/m ²)	Comentarios
Distribución hidráulica	50	
UMAs y conductos	43	
Distribución local de aire	30	Fan-coils, conductos de textil con difusores
Regulación y control clima	9	
SUMA	132	

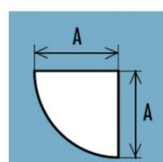
Sin embargo, el costo aplicado en el cálculo de los resultados económico-financieros de viabilidad del DF es de **89 \$/m²** de espacio útil, ya que la partida de UMAs y conductos de aire representa una mejora de confort y salubridad², y aunque se recomienda incluirlos, su introducción va más allá del sistema de Distrito de Frío.

Para los casos donde existen las UMAs que actualmente preparan el aire con baterías de frío accionadas por sistemas de expansión directa, se considera únicamente la sustitución del intercambiador – batería de frío de la UMA, con el costo correspondiente.

Para el caso de los dos hospitales se ha detectado el reto de integración de ductos de aire de renovación ya que algunos espacios no tienen una altura suficientemente holgada como para introducir ductos convencionales. En este caso, y en vistas a las próximas fases del proyecto, siempre en el caso que se continúe con este piloto, se recomienda examinar la opción de trabajar con ductos flexibles de materiales tipo textil, como los que se muestran a continuación.

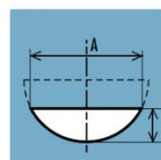


Gráfico 23: Ejemplos de distribución de aire mediante ductos de textil



Quarter Round

Quarter Round Fabric Duct requires a wall / ceiling junction (or a bulkhead). This duct is most often specified in offices and areas struggling for space. We can place the inlet spigot in the top or back of the duct so that there is no visible inlet connection making the whole installation very neat and aesthetic.



Ellipse (Segment)

An Ellipse duct is made when ceiling height is at a premium. The air volume and the available height will determine the width of the ellipse. Usually the inlet spigot will be in the top of the duct so that it's not visible once installed.



² Estrictamente mirando, los espacios actualmente climatizados con sistemas de expansión directa y que no tiene renovación de aire, se pueden climatizar con equipos de agua helada, sin UMAs y conductos, dando el mismo nivel de confort y salubridad. Por otro lado, si los mismos espacios ya tiene un sistema de renovación de aire, el mismo se puede aprovechar en el futuro. Por este motivo se excluye la inversión en UMAs y conductos de la valoración de rentabilidad del DF. Por otro lado, se recomienda incluir el sistema de renovación de aire para mejorar las condiciones de confort y salubridad.

Gráfico 24: Diferentes formas de ductos de textil. Algunas se pueden adosar al techo o a las esquinas ocupando relativamente poco espacio.

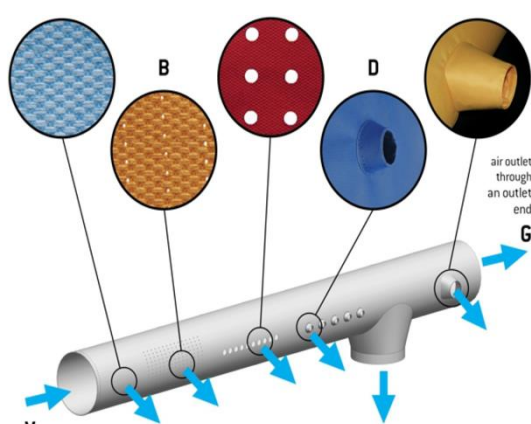


Gráfico 25: Diferentes opciones de difusión mediante ductos de textil

4.7 Proyección de la evolución de la demanda de frío

Al convertir cada uno de los espacios y edificios climatizados y conectarlos a un sistema de Distrito de Frío, la propuesta de crecimiento del sistema según la demanda se propone asumir de la siguiente manera:

Tabla 7: Progresión anual demanda de frío

Demandas de frío	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Capacidad demandada, kW	3.359	4.859	4.859	4.859	4.859
Energía de enfriamiento demandada kWh	7.382	10.679	10.679	10.679	10.679
Factor de simultaneidad	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Capacidad de producción, kW	2.855	4.130	4.130	4.130	4.130

Esto significa que toda la demanda ya existente se conecta el primer año del funcionamiento del sistema, y que los edificios previstos entran en funcionamiento el segundo año. Las incógnitas relativas a las fechas de construcción de nuevos edificios no permiten elaborar hipótesis más detalladas. En todo caso, los resultados económico-financieros son poco sensibles a las variaciones de fecha de conexión de nuevos edificios, siempre y cuando no se dilate más allá de los primeros cinco años de operación.

5 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 y tecnologías de producción probadas, que pueden proporcionar una base para ventajas y eficiencia energética a gran escala. La elaboración de la arquitectura del sistema y la identificación de opciones tecnológicas para un determinado distrito o área también significa 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 disponibles para el abastecimiento, producción y distribución de agua enfriada centralizada.

5.1 Arquitectura del Sistema y opciones tecnológicas

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 ofrece sus propias opciones:

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

Desde el punto de vista de la arquitectura del sistema, la producción es el elemento principal y definirá gran parte de los aspectos operativos y ambientales del sistema.

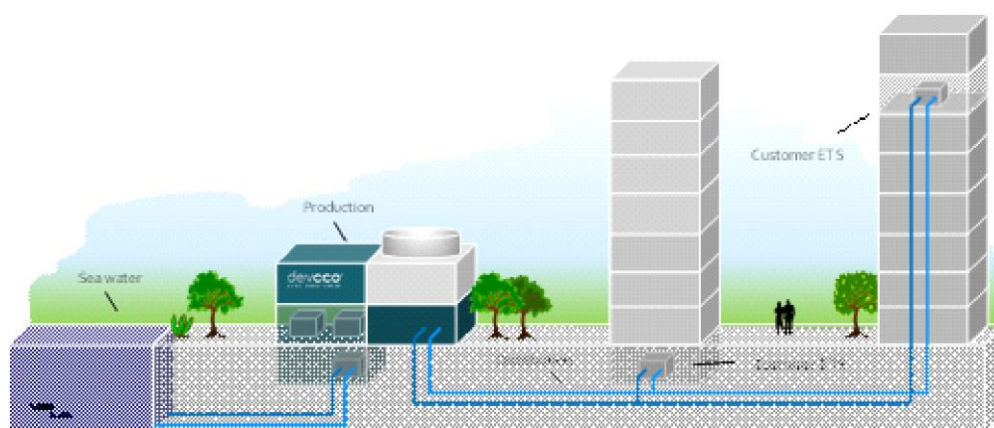


Gráfico 26: Esquema general de red de frío

5.2 Producción

En esta sección se identifican las opciones más relevantes de la siguiente manera:

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

5.2.1 Sistema de DF convencional

La producción convencional se define como la producción de agua helada por enfriadoras de energía eléctrica enfriadas 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

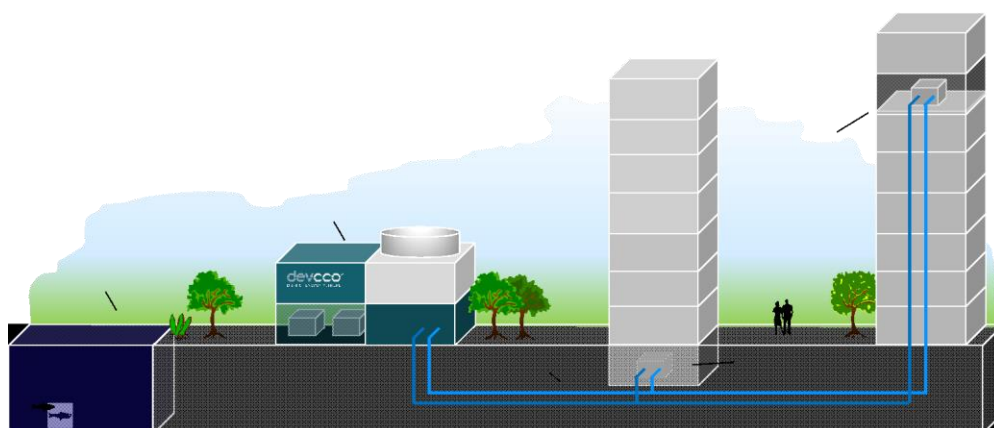


Gráfico 27: Ilustración de un sistema de producción de Distrito de Frío convencional con enfriadoras y torres de enfriamiento

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

- Ventajas: equipamiento estándar
- Desventajas: altos gastos de capital (CAPEX), alto nivel de funcionamiento y mantenimiento, gran cantidad de refrigerantes convencionales

5.2.2 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 enfriar agua sin el uso de enfriadoras eléctricas o con un número mínimo de estas. Evidentemente, este tipo de sistemas no se aplica en el caso que nos ocupa, pero se menciona ya que puede ser de interés en zonas costeras de Costa Rica, donde el CCSS podría tener otros hospitales e interés de desarrollar Distritos de Frío para ellos.

El principal beneficio de SWAC es la muy alta eficiencia energética que se puede obtener gracias a la utilización del frío natural del mar. Estos sistemas siguen necesitando electricidad principalmente para bombear agua a través de tuberías hasta 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 se desarrollan específicamente con las condiciones naturales del sitio por lo que 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

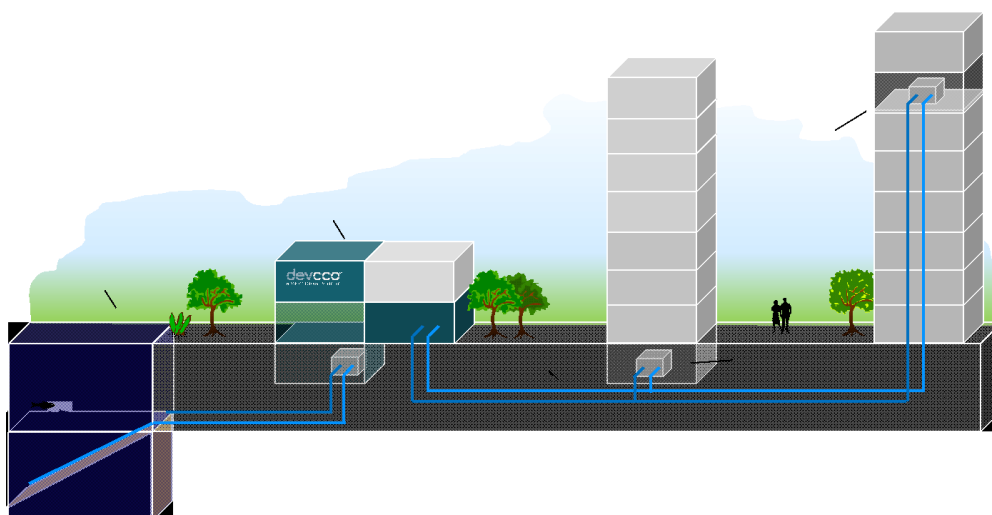


Gráfico 28: Ilustración de un sistema de producción de Distrito de Frío tipo SWAC

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

5.2.3 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 o 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 gana en eficiencia de la

enfriadora. 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.

Si las fuentes de energía locales, como centrales eléctricas o industrias pesadas, generan exceso de calor, el sistema híbrido también podría aprovecharse la tecnología de enfriamiento por absorción para fines de enfriamiento.

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
- Enfriadoras eléctricas y / o enfriadoras de absorción

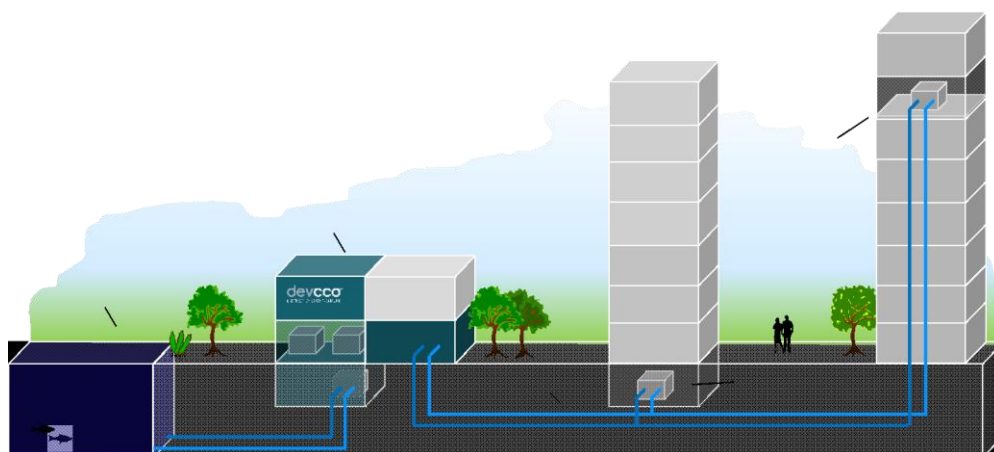


Gráfico 29: Ilustración de un sistema híbrido con entrada de agua de río, lago o mar poco profunda para condensar las enfriadoras

Pros y contras de un sistema híbrido:

- Ventajas: costo operativo medio, cantidad de refrigerantes reducida
- Desventajas: Altos costos capitales

5.3 Arquitectura del sistema propuesto para el conjunto de hospitales CCSS

Con el esquema previsto de expansión del mercado, la planta de producción del Distrito de Frío totalmente consolidada tendría una capacidad instalada correspondiente a 4.130 kW.

Tabla 8: Potencia y demanda de enfriamiento

Demanda por edificios	conexión	Demandas capacidad	Consumo de frío
Existente	año	kW	MWh
Edificio de Hospitalización	Año 1	786	2.123
Edificio de tamizaje	Año 1	770	1.001
Edificio de Especialidades médicas	Año 1	280	364
SJD SUM Nivel 1, 2	Año 1	532	1.099
SJD SUM Nivel 3	Año 1	714	2.049
SJD SUM Nivel 4, 7	Año 1	277	747
Suma demanda actual		3.359	7.382
Nuevo			
Nuevo edificio San Juan de Dios	Año 2	700	1.539
Nuevo edificio hospital Niños	Año 2	800	1.758
Suma demanda nueva		1.500	3.297
Total de demanda		4.859	10.679

Demandas de frío	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Capacidad demandada, kW	3.359	4.859	4.859	4.859	4.859
Energía de enfriamiento demandada kWh	7.382	10.679	10.679	10.679	10.679
Factor de simultaneidad	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Capacidad de producción, kW	2.855	4.130	4.130	4.130	4.130

La capacidad de producción de agua helada para los dos hospitales de la CCSS consta de los siguientes elementos principales:

- Tres enfriadoras eléctricas de carga base, capacidad 3 * 1100 kW con tres torres de enfriamiento separadas, capacidad 3 * 1375 kW

- Una enfriadora eléctrica de carga punta, unidad integrada refrigerada por aire con una capacidad de 1000 kW

Con esta configuración la planta de producción tendrá las siguientes características de desarrollo temporal:

Tabla 9: Planta de producción y evolución

Producción de frío	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Enfriadora demanda base, kW	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
Enfriadora demanda base, kW	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
Enfriadora demanda base, kW	0	1.100	1.100	1.100	1.100
Enfriadora demanda punta, kW	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Total de capacidad instalada, kW	3.200	4.300	4.300	4.300	4.300

Para poder igualar el esquema de expansión de demandas previstas, dos enfriadoras de base y la enfriadora de punta se instalarán en el año 1, mientras que se espera que la tercera enfriadora en el año 2.

La configuración general del sistema se ilustra a continuación:

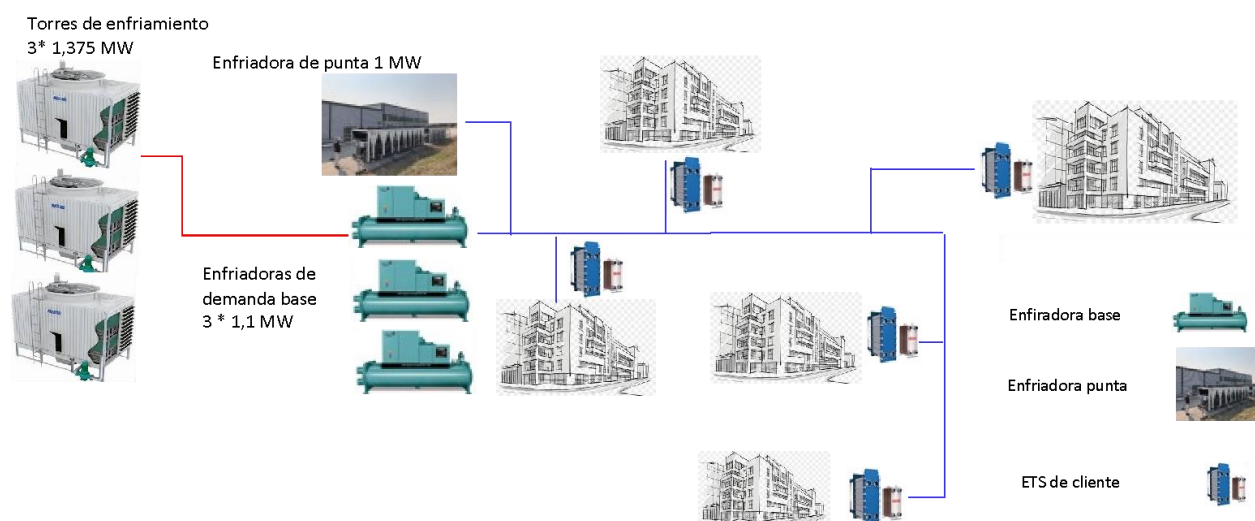


Gráfico 30: Esquema del sistema de CCSS

La ubicación preferente para la nueva planta de producción de agua helada está dentro del complejo hospitalario de San Juan de Dios, tal como se indica en la siguiente imagen.



Gráfico 31: Ubicación de la nueva planta de agua helada respecto a los chillers existentes en el Hospital San Juan de Dios

Se identifican algunas opciones que se recomienda examinar en próximas fases del proyecto.

- Hay varias enfriadoras existentes en los hospitales. Se sugiere examinar si los 2 equipos de 600 kW ubicada en San Juan de Dios pueden ser opcionalmente parte de la arquitectura del sistema propuesto. Al integrar estas unidades a la planta de enfriamiento del distrito, se podría evitar una unidad de carga base. Esto dependerá de la antigüedad y el estado actual de estas dos enfriadoras.
- Planta de calderas de vapor existente (4 calderas). Aprovechar el calor residual mediante la instalación de un recuperador de calor de gases de combustión. Su capacidad probablemente sea limitada a aproximadamente 1 MW para funcionamiento de enfriadora de absorción. Sería necesario verificar el régimen de operación de las calderas, su constancia y coincidencia con las demandas de frío, así como la previsión de permanencia de esta instalación en su sitio actual.
- Opción de sustituir una de las unidades enfriadoras propuestas por una bomba de calor (capacidad de refrigeración de 1.100 kW / capacidad de calefacción de 1.540 kW) para la producción y suministro de agua caliente en lugar de vapor, de esta forma la unidad podría proporcionar tanto frío como calor, a una mejor eficiencia si se demanda simultáneamente calor.

Estas opciones no se han considerado en el cálculo de indicadores económicos y financieros ya que al día de hoy existen incógnitas que no se han podido despejar.

5.4 Tipologías y necesidades de 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. Este tema adquiere la importancia en el futuro desarrollo del proyecto en caso de que se decida

ampliar los usuarios del sistema de distrito de frío, por ejemplo, al Hospital Blanco Cervantes y/u otros edificios del entorno. En cuanto a la tipología podemos distinguir entre:

- edificio en planta piso
- edificio en varias plantas
- edificio soterrado

Edificio en planta piso es la tipología más económica y por esto la más habitual. Suele usarse en situaciones donde el terreno no es escaso o extremadamente costoso.

Edificio en varias plantas se utiliza 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.

La tipología de edificio soterrado encarece 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, ubicados en sótanos.

A continuación, se muestran algunos ejemplos que pueden ser de interés.



Gráfico 32: Central del área Expo, Zaragoza. Planta aislada, en las márgenes de la ciudad



Gráfico 33: Central de frío y de transferencia de calor en Berlín. Central en varias plantas, con medianera compartida con el edificio colindante



Gráfico 34:: Central de frío de Ámsterdam, en situación periurbana



Gráfico 35: Central de frío soterrada, Place du Canadá, Paris. La central está construida debajo del espacio público

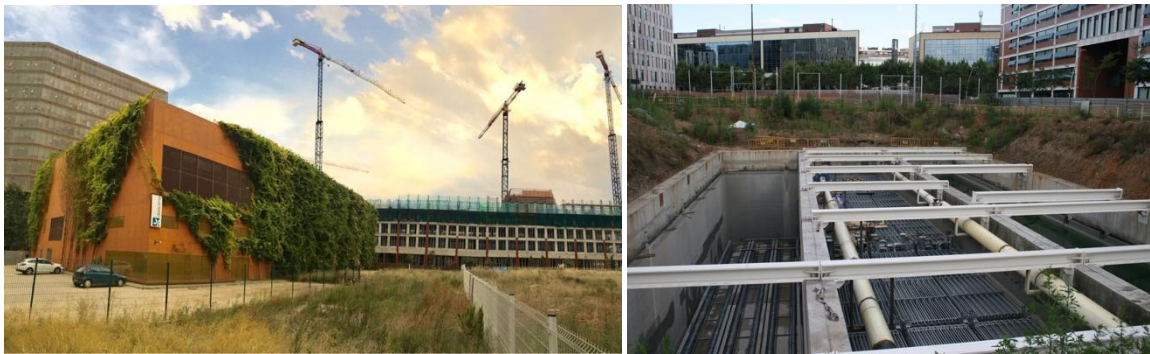


Gráfico 36: Central c/Tànger, Barcelona. La central se construye en varias plantas y parcialmente soterrada debajo del parque público.



Gráfico 37: Central Fórum del sistema 22@/Fórum, Barcelona. La central se ubica dentro de la topografía del parque público

5.5 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, con aislamiento puesto en fábrica, pero también se utilizan otras alternativas como las tuberías de polietileno aisladas.

Para continuar el trabajo con este estudio de prefactibilidad, el diseño del sistema se basará en tuberías preaisladas EN253 con aislamiento estándar de la serie 1. Se espera que el nivel de temperatura de avance / retorno sea de 6 / 12°C, es decir, $\Delta T = 6^\circ\text{C}$.

- La presión máxima es de 16 bar, que es estándar en el diseño EN253.
- La pérdida máxima 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 bastante bajas, ya que las tuberías están bien aisladas debido a temperaturas del suelo similares.

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

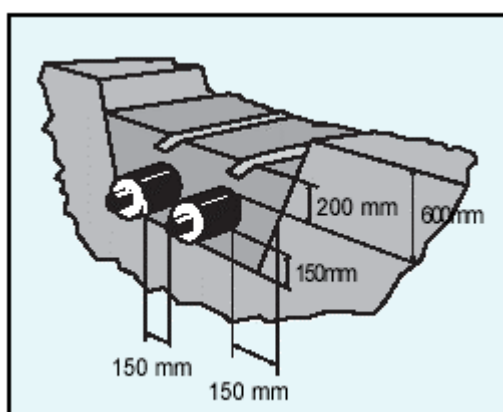


Gráfico 38: Sección transversal para un par de tuberías de distribución DN 150.

El coste de construcción depende 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 39: Construcción de tuberías de distribución preaisladas

El sistema de distribución para el sistema a construir está dimensionado para los dos hospitales y sus edificios y pabellones actualmente climatizados, así como los edificios previstos. En total se consideran 23 conexiones ya que en el hospital San Juan de Dios actualmente no se climatizan edificios enteros sino determinadas zonas de estos. Dada la densidad de la edificación y la distribución de los edificios, así como escasez de espacios o corredores entre edificios, no parece oportuno plantear una red enterrada. Por esto se ha optado a considerar una red mixta, principalmente aérea, a semejanza de la actual red de distribución de vapor, y en algunos puntos enterrada. Para diámetros más reducidos, una fracción mayor de la longitud de la tubería se puede colocar en las azoteas, mientras que, para dimensiones más grandes, lo más probable es que las tuberías tengan que estar enterradas. El uso de los pasillos existentes es limitado, por lo que representa una pequeña fracción.

El trazado de la red en planta suma 1.150 m. Este valor se ha incrementado en un 20%, 230 m, para tener en cuenta los tramos verticales que salvan la diferencia de altura entre edificios. **La longitud total considerada es de 1.380 m.** En el caso de proceder con las siguientes fases del estudio será necesario abordar el trazado de la red en mayor detalle y a partir del trabajo de campo.

La dimensión de las tuberías para el sistema varía entre DN100 y DN300. También se consideran las tuberías de conexión de los edificios desde el sistema de distribución principal considerando DN100 y una longitud de 15 m para cada una de las 23 conexiones.

Se ha realizado un diseño detallado de la red, y calculado los costes de esta, teniendo en cuenta todas las partidas. Los costos asociados a tubería se han solicitado a suministradores de la región latinoamericana, considerando materiales internacionales de alta calidad, procedentes de Dinamarca.

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

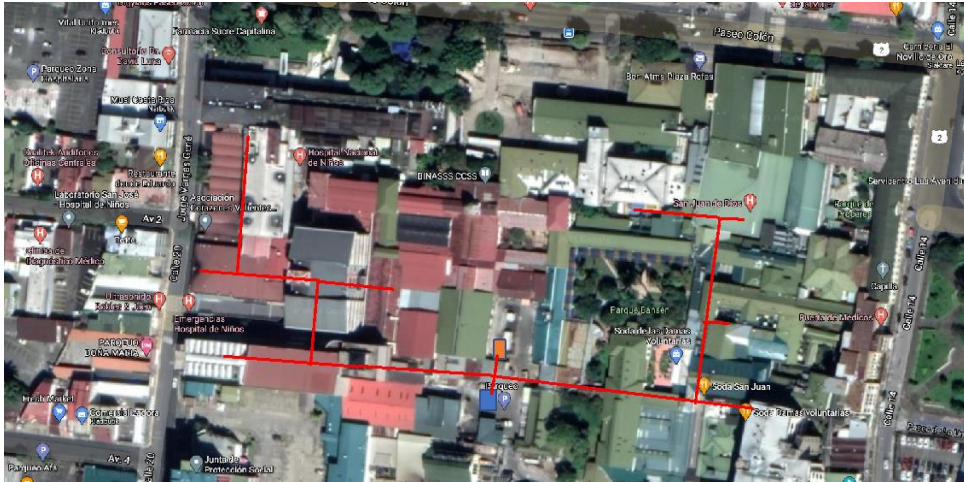


Gráfico 40: Planteamiento de red de frío

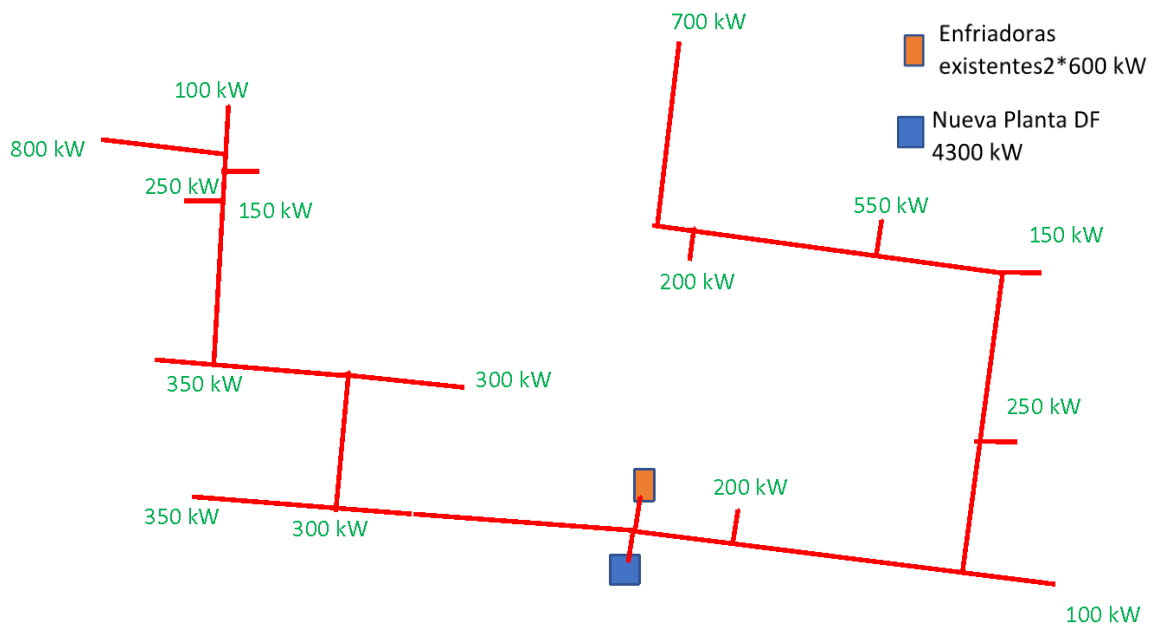


Gráfico 41: Estructura de la red de frío con la ubicación de equipos de producción de agua helada

El diseño inicial de la red se ha realizado considerando un salto térmico de la distribución de 6 °C, siendo la temperatura de distribución 6 °C y la del retorno 12 °C. No se ha contado con un salto térmico mayor para poder compatibilizar los elementos de distribución interior y difusión existentes. En la fase de desarrollo de ingeniería cabe intentar optimizar el salto térmico, si las instalaciones existentes lo permiten.

Tabla 10: Longitud de la red

	Longitud (m)	Diámetro (DNx)
Longitud recorrido horizontal	1.150	100-300
Recorrido vertical / recorrido horizontal	20%	
Longitud total red principal	1.380	100-300
Conexión de clientes	345	100
No de conexiones @ 200 - 300 kW	23	
Longitud por conexión (m)	15	
Recorrido vertical / recorrido horizontal	20%	

5.6 Estaciones de transferencia de energía (ETS)

En las ETS las Demandas de Enfriamiento de la Red de Distribución se trasladan 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

Para el caso del conjunto de hospitales de la CCSS se recomienda utilizar las ETS con Intercambiador de calor ya que el sistema suministra varios edificios de diferentes características, algunos de ellos por construir, y los hospitales que tienen administración independiente entre sí. En el cálculo de costos de inversión se ha contado con este tipo de ETS.

5.6.1 ETS con Intercambiador de calor

En las ETS conectadas por intercambiadores 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:

- Permiten manejar diferentes niveles de presión en el lado primario y secundario independientes entre sí. Sin necesitar controles adicionales y complicados.
- Alta seguridad: el mantenimiento y las reparaciones en un lado no influyen en el otro.
- Separación muy clara y distinta entre el lado primario y el secundario.
- Permiten separar el agua en el sistema de DF y los sistemas de calefacción / refrigeración de los edificios.
- Reducen 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.

5.6.2 ETS de conexión directa

En las ETS de conexión directa los lados primario y secundario no están físicamente separados; la misma agua circula a través de la red de distribución y el sistema interno de los edificios. Las válvulas reductoras de presión en la ETS se mantienen 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.

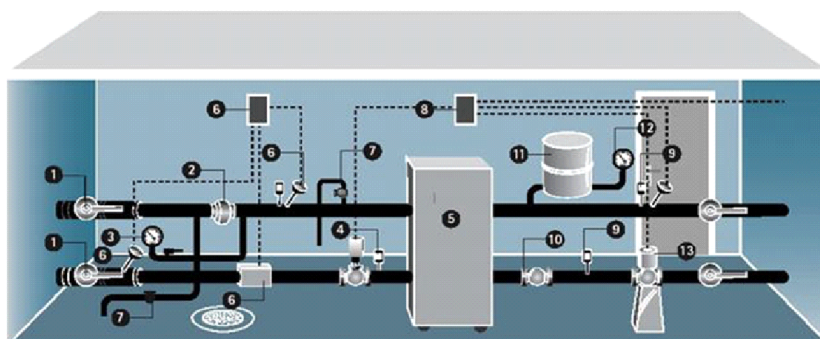
Ventajas:

- Sin pérdidas térmicas entre el lado primario y secundario.
- Sin riesgo de ensuciamiento en los intercambiadores de calor.

Desventajas:

- Complicado 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 un ETS conectado a un intercambiador de calor (HEX):



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 42: Descripción general de un ETS (subestación)

5.7 Opciones tecnológicas - fuentes

La opción más adecuada para este estudio parece ser un sistema de Distrito de Frío convencional como se describe en la sección 5.3.

5.7.1 Electricidad

El abastecimiento de electricidad para el Distrito de Frío es vital en términos de tener capacidad suficiente para la producción de agua helada y su bombeo. No obstante, desde una perspectiva amplia del sistema, mediante la introducción de un Distrito de Frío energéticamente eficiente, se esperaría lograr una reducción sustancial en el consumo eléctrico respecto al del conjunto de equipos individuales de climatización por edificio.

Estimación aproximada de indicadores financieros y económicos

5.8 Inversión

El Distrito de Frío es un negocio intensivo en inversión de capital ya que se requiere asumir altos costos de inversión para lograr aprovechar las ventajas de la economía de escala, incluida la capacidad de utilizar fuentes de energía naturales u otras fuentes de energía beneficiosas. 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:

- Planta de producción en el emplazamiento indicado
- Sistema de distribución
- Estaciones de transferencia de energía (ETS)

- Costes de conversión de edificios o espacios que actualmente operan con sistemas tipo expansión directa

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.

Los costos de inversión para la conversión de edificios se han estimado a partir de las referencias de proyectos similares, y con los valores expuestos en el apartado 4.6. Cabe resaltar que la situación particular del Hospital de San Juan de Dios, con sus edificios catalogados como patrimonio arquitectónico, y la dispersión de los actualmente espacios climatizados, dificulta esta valoración. Estos costos de conversión se tienen en cuenta para los cálculos de inversiones.

No se ha considerado ningún costo por la utilización del suelo para la central de producción, ya que el proyecto se plantea dentro del terreno de la institución.

No se ha considerado un costo adicional de equipos de respaldo eléctrico. Aunque se considera imprescindible contar con este tipo de elementos de seguridad en hospitales con actividades críticas 24/7 365, se asume que los hospitales ya cuentan con este tipo de equipos para poder dar servicios con las máquinas enfriadoras actualmente instaladas. De hecho, la capacidad eléctrica requerida por el distrito de frío será inferior a la de las enfriadoras actuales, con lo cual se liberará la capacidad de respaldo eléctrico existente.

El desglose detallado del CAPEX se ha calculado sobre la base de valores de referencia de proyectos similares a nivel mundial, contrastando y ajustando algunos costos según información recopilada en Costa Rica o en la región. El desglose de CAPEX se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 21: Inversión en el sistema de Distrito de Frío: Planta de producción

Planta DF- CCSS					
Planta enfriadora de base	\$/kW	Capacidad kW	Inversión \$	Inv. Especifica	Observaciones
Enfriadoras refrigeradas por agua, 3 unidades	150,0	3.300	495.000		
Torres de enfriamiento enfriadas por agua evaporativa incl. tratamiento de agua	87,5	4.125	360.938		
Bombas enfriadoras y torres de enfriamiento	25,0	3.300	92.813		
Obras Mecánicas y Tuberías	48,0	3.300	158.400		

Trabajos eléctricos e instrumentación	15,0	3.300	49.500		
Auxiliares	10,0	3.300	33.000		
Estructura / Civil / Arquitectura	30,0	3.300	99.000		
Bombas de distribución	25,0	3.300	82.500		
Edificio			400.000		800 m ²
Conexión de energía, transformadores			400.000		
Imprevistos	10%		217.115		
SUMA			2.388.265	724	USD/kW
Enfriadoras de punta	\$/kW	Capacidad kW	Inversión \$	Inv. Especifica	Observaciones
Unidades refrigeradas por aire	175,0	1.000	175.000		
Bombas de distribución			25.000		
Variadores de frecuencia	10%		20.000		
SUMA			220.000	220	USD/kW
Grand Total			2.608.265	607	USD/kW

Tabla 32: Inversión en el sistema de Distrito de Frío: Red de distribución

dimensión (DNx)	recorrido horizontal (m)	recorrido vertical (m)	suma recorrido (m)	sobre cubiertas	Costo (US\$/m)	Corredores	Costo (US\$/m)	Enterrado	Costo (US\$/m)	SUMA (kUSD)
100	480	96	576	50%	800	20%	1.000	30%	1.300	570
150	195	39	234	35%	850	15%	1.050	50%	1.350	264
200	100	20	120	10%	900	15%	1.100	75%	1.400	157
250	130	26	156	10%	950	15%	1.150	75%	1.450	211
300	245	49	294	0%	1.000	0%	1.200	100%	1.500	441
Total	1.150	230	1.380							1.644

Tabla 13: Inversión en el sistema de Distrito de Frío: Estaciones de transferencia

Estaciones de transferencia	50	\$/kW
ETS	242.937	\$

Tabla 44: Inversión en el sistema de Distrito de Frío: Conversión de edificios

	AC área m ²	Centralizado kW	Descentralizado kW	Área por convertir m ²	Costo específico de conversión USD/m ²	Costo de conversión USD
Hospital de Niños						
Edificio de Hospitalización	6.443	404	322	0*		4.500
Edificio de tamizaje	7.700	245	525	5.250	89	467.250
Edificio de Especialidades médicas	2.800	280	0	0	89	0
SUM		929	847	3.770	89	471.750
San Juan de Dios					89	
SJD SUM Nivel 1,2	5.446	1.200	0	0	89	0
SJD SUM Nivel 3	5.380	0	750	5.380	89	478.820
SJD SUM Nivel 4, 7	2.242	0	750	2.242	89	199.538
SUM		1.200	1.500	7.622		678.358
Grand Total Costo de Conversión				15.729,64		1.150.108

*UMAs y el sistema de distribución de aire ya existentes, se sustituye la batería de frío en las UMAs

La conversión completa de todos los edificios podría aumentar hasta un total 1,77 MUS\$ si todos los espacios que se tienen que convertir no tuvieran sistemas de renovación de aire. Sin embargo, como hemos visto en el caso del edificio de hospitalización del Hospital de Niños, algunos equipos de expansión directa trabajan con UMAs, cosa que reduce significativamente el costo de conversión. En el cálculo de financiero se no se recoge la parte correspondiente a la parte del aire (UMAs y ductos) ya que esta, en los espacios que no cuentan con estos equipos, representa una mejora del confort y salubridad, requerida por la normativa vigente. El costo de conversión referente al resto de equipos (distribución hidráulica, fan-coils, regulación y control), necesarios en otros espacios que operan con sistemas de expansión directa se han contabilizado en su totalidad, sumando 1,15 MUS\$. Este valor podría ser inferior, por lo que se recomienda realizar una auditoría exhaustiva para valorar el costo de sustituir los sistemas existentes de climatización.

5.9 Ahorro en costos de operación

Los ahorros se calculan como resultado de la evaluación de demandas realizada y la identificación de las tecnologías BAU (Business as Usual) existentes. Los ahorros consisten en ahorros eléctricos con Distrito de Frío en comparación con sistemas actuales, ahorros eléctricos debido al cambio de tarifas, así como ahorros de operación y mantenimiento para el sistema de Distrito de Frío en comparación con el sistema actual de todos los edificios.

5.9.1 Consumos energéticos caso base y caso de Distrito de Frío

La eficiencia energética estacional SEER para la situación actual es una combinación de sistema centralizados y descentralizados. La relación entre ellos parece ser del 50% / 50% para los dos hospitales en los que hemos asumido una SEER promedio para BAU de $0,5 * 2,4 + 0,5 * 1,3 = 1,85$. Mientras que el SEER del sistema de Distrito de Frío, para la arquitectura propuesta, es de 4.

Tabla 15: Comparación de consumos y costos entre el sistema actual y el distrito de frío

Sistema actual	Capacidad de frío (kW)	Consumo frío (kWh)	SEER	Potencia eléctrica (kW)	Consumo eléctrico (kWh)	Costo (US\$)
Edificio de Hospitalización	786	2.122.969	1,85	425	1.147.551	176.723
Edificio de tamizaje	770	1.001.000	1,85	416	541.081	83.326
Edificio de Especialidades médicas	280	364.000	1,85	151	196.757	30.301
SJD SUM Nivel 1, 2	532	1.098.580	1,85	288	593.827	91.449
SJD SUM Nivel 3	714	2.048.650	1,85	386	1.107.378	170.536
SJD SUM Nivel 4, 7	277	747.160	1,85	150	403.870	62.196
TOTAL actual	3.359	7.382.359			3990464	614.531

Distrito de frío (DF)	Capacidad de frío (kW)	Consumo frío (kWh)	SEER	Potencia eléctrica (kW)	Consumo eléctrico (kWh)	Energía (US\$)
Edificio de Hospitalización	786	2.122.969	4	197	530.742	65.812
Edificio de tamizaje	770	1.001.000	4	193	250.250	31.031
Edificio de Especialidades médicas	280	364.000	4	70	91.000	11.284
SJD SUM Nivel 1, 2	532	1.098.580	4	133	274.645	34.056
SJD SUM Nivel 3	714	2.048.650	4	178	512.163	63.508
SJD SUM Nivel 4, 7	277	747.160	4	69	186.790	23.162
TOTAL DF	3.359	7.382.359			1.845.590	228.853

Ahorros eléctricos por DF, (MWh)	2.145
Ahorros económicos DF, US\$	385.678

El ahorro eléctrico DF frente a BAU se valora en 2.145 MWh al año. El costo actual, del año 2020, de electricidad para el Hospital de Niños ha sido de 0,154 \$/kWh, incluyendo el término fijo de capacidad y el variable, de consumo de energía. Se considera que el sistema de Distrito de Frío tendrá la electricidad contratada bajo la tarifa T-MT y que un 35% del consumo eléctrico es en el periodo punta, un 55% en el periodo valle y un 10% en el periodo nocturno. De esta forma se obtiene una tarifa ponderada de 0,124 \$/kWh, incluyendo la capacidad y la energía consumida.

- Coste eléctrico BAU en total 614 kUSD anuales
- Coste de electricidad DF en total 229 kUSD anuales
- Ahorro eléctrico en total 385 kUSD por año

En los cálculos de ahorro, no se incluyen los edificios nuevos, por construir. Se comparan únicamente los consumos de los existentes. Consideramos que los nuevos edificios se podrán equipar con sistemas centralizados y enfriadores de alta eficiencia, con una arquitectura de sistema similar a la sugerida de DF por lo tanto habrá poca diferencia.

En la presente fase del estudio no se considera ningún tipo de acumulación debido a la poca disponibilidad de terreno, por lo que no está claro donde se podría ubicar este. Se sugiere verificar en las siguientes fases del proyecto la posibilidad de disponer del espacio y de incluir el almacenamiento. Se propone mantener las dos enfriadoras existentes de 600 kW cada una, que podrían permanecer como respaldo en la arquitectura de sistema sugerida. El resto de los equipos existentes quedarían fuera de servicio.

Tabla 16: Tarifas actualmente contratadas. Fuente: CNFL

Tarifa Comercios y Servicios T-CO	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh cada kWh	¢109,73
Por consumo de energía	
Bloque de 0 a 3.000 kWh Cargo fijo	¢198.210,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢66,07
Cargo por potencia	
Bloque de 0 a 8 kW Cargo fijo	¢88.091,52
Bloque mayor a 8 kW cada kW	¢11.011,44

Tarifa Media Tensión T-MT		
Consumo de energía por cada kWh		
	Máxima	Minima
Energía Punta	¢55,97	¢54,12
Energía Valle	¢27,99	¢27,06
Energía Noche	¢20,16	¢19,48
Consumo de potencia (kW)		
	Máxima	Minima
Energía Punta	¢9.816,09	¢9.490,20
Energía Valle	¢6.984,46	¢6.752,58
Energía Noche	¢4.433,87	¢4.286,66

5.10 Costos evitados

Como costos evitados se contemplan las inversiones que se tendrían que hacer si no se opta por desarrollar el Distrito de Frío. Esto significa que se tienen que adquirir nuevas enfriadoras para los edificios por construir, con una capacidad de 1.500 kW a un costo de 660 \$/kW. Por otro lado, se considera que las enfriadoras que están actualmente en operación se tendrían que sustituir en el año 10. El costo de sustitución de diversos equipos de climatización, de una capacidad total de 3.395 kW en los dos hospitales, se considera a un costo de 325 \$/kW de promedio.

Como costos evitados también se incluye la reducción en el mantenimiento. Aquí se considera una reducción de costos en mantenimiento de unidades de expansión directa. Para equipos de este tipo, de pequeña potencia, el costo de mantenimiento se sitúa en unos 30\$/kW. Este valor procede de España, de la base de datos pública de costos de inversión y de operación y mantenimiento en este tipo de equipos. El valor se ha actualizado considerando una reducción de 20% debido a gran número de equipos, con lo cual se considera que los hospitales optimizan la gestión del mantenimiento, y también se ha corregido considerando que los costos de vida en España son un 15% más altos. La capacidad actualmente instalada en este tipo de equipos es de unos 2.200 kW, entre los dos hospitales.

5.11 Resultados finales

Para la arquitectura seleccionada, se valoran las opciones tecnológicas, los cálculos de CAPEX (Costes de capital) y OPEX (Gastos operativos) y los paybacks y retornos. Los cálculos de CAPEX incluyen la producción, distribución y transferencia de frío a cada uno de los 23 espacios identificados como usuarios, así como la conversión de los espacios usuarios que la necesiten para que puedan operar con agua helada.

Los valores de conversión de edificios de referencias de DEVCCO se han desarrollado y comparado con proyectos anteriores. Estos costes de conversión se tienen en cuenta para los cálculos de inversión.

La inversión total asciende a 5,65 MUS\$.

Los ahorros se calculan como resultado de la prospección de la demanda de frío realizada y la identificación de las tecnologías BAU (Business as Usual) existentes. Los ahorros consisten en ahorros eléctricos con el Distrito de Frío en comparación con sistemas actuales, ahorros eléctricos debido al cambio de tarifas y ahorros de operación y mantenimiento para el sistema de Distrito de Frío en comparación con los sistemas de expansión directa.

Las cifras clave financieras se calcularán para establecer una línea de base y una evaluación de rentabilidad aproximada del caso de negocio del Distrito de Frío. Con estos valores, se ha realizado un análisis de viabilidad económico de la comparación de los dos casos, el caso base (actualizando los equipos de enfriamiento en el año 10) y el caso de la red del Distrito de Frío.

Para establecer un caso base, no se ha considerado el incremento de precio de la energía, que iría a favor de la propuesta de Distrito de Frío.

Los cálculos se han realizado al valor presente del dinero, 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:

Tabla 17: Resumen de indicadores

RENTABILIDAD	
Valor actual Neto (VAN)	1.841.895
Tasa Interna de Rendimiento (TIR)	10,3%
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 58: Flujo de caja

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	4.423.696	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678	385.678
Electrical savings tariff change	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Electrical savings buffer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ahorro O&M (DX - DF)	725.817	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280	63.280
SUMA	5.149.513	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958
CAPEX	Valor actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción de frío	2.446.699	2.347.439	260.827	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Red de distribución	1.542.164	1.479.600	164.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETS	227.889	218.643	24.294	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conversión de edificios	956.498	1013888	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos evitados BAU	-1.490.682	0	-990.000	0	0	0	0	0	0	0	-1.091.675	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum CAPEX	3.682.568	5.059.570	-540.480	0	0	0	0	0	0	0	-1.091.675	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	1.466.945	-4.610.612	989.438	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	1.540.633	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958	448.958
Flujo de caja acumulado		-4.610.612	-3.621.174	-3.172.216	-2.723.258	-2.274.300	-1.825.342	-1.376.384	-927.426	-478.468	1.062.165	1.511.123	1.960.081	2.409.039	2.857.997	3.306.955	3.755.913	4.204.871	4.653.829	5.102.787	5.551.745

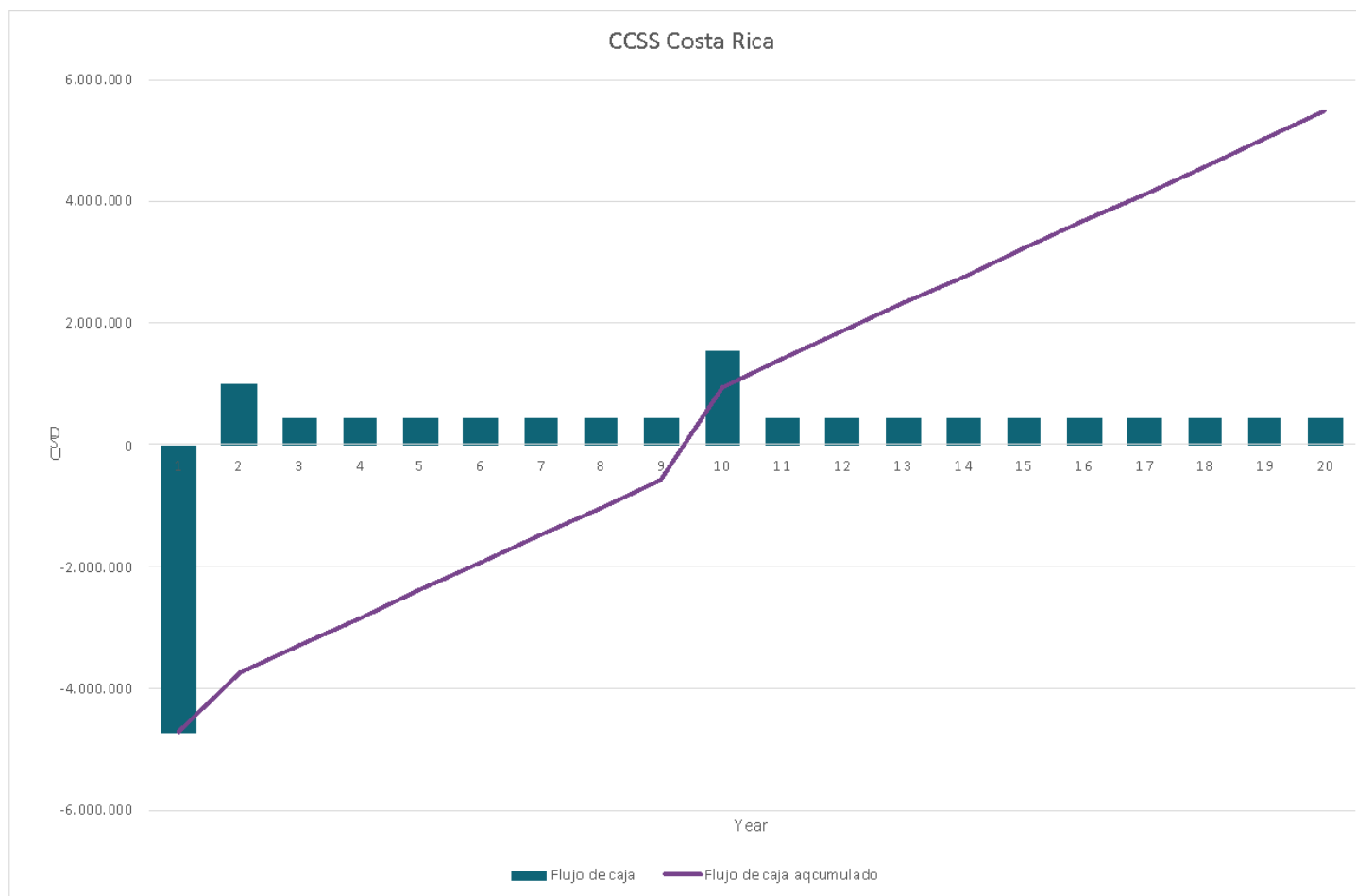


Gráfico 43: Flujo de caja

6 Partes interesadas

En esta red de enfriamiento, el agente principal es la propia CCSS. Entre las partes interesadas hay que contar con la municipalidad, ya que la red de distribución tendrá que pasar por vía pública.

7 Modelo de propiedad y modelo de negocio

Hay varias dimensiones o enfoques para desarrollar un modelo de negocio para un proyecto de Distrito de Frío a gran escala. Las principales preguntas por abordar son: ¿quién es el propietario actual y futuro del sistema de refrigeración del distrito y el negocio derivado?, ¿qué financiamiento está disponible?, ¿qué alternativas de contratación están disponibles? y ¿qué tipo de recursos y habilidades se requieren para las diferentes alternativas?

Las partes interesadas comunes en un proyecto de Distrito de Frío se pueden definir como las partes involucradas a continuación, y algunas de ellas son recurrentes en más de una de las categorías definidas:

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

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, incluidos inversores, desarrolladores, propietarios, operadores, empresas de servicios públicos, consumidores finales y municipios, puedan obtener beneficios económicos, además de cualquier otro beneficio que busquen.

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 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 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 energía del distrito en dos categorías principales, a saber, la propiedad única o el modelo de propiedad mixta (con más subcategorías) como se describe a continuación.

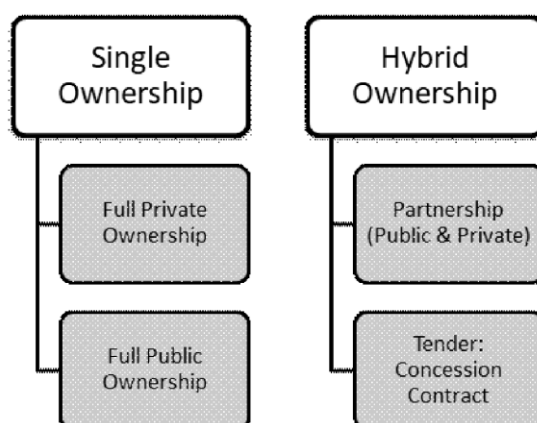


Gráfico 44: Esquemas de propiedad

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 quién será inversores o prestamistas relevante.

Tabla 69: Pros y contras de los distintos esquemas

Modelo de negocio	Propiedad	Gobernanza	Control	Fuente de financiamiento
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	Gobernanza total del sector público. Opción de subcontratar ciertas asignaciones dentro, 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. Hay que acomodar rápidamente las clientes ancla y fomentar la expansión / escalabilidad	Subvenciones públicas, obtención de deuda pública con menor interés, bancos de desarrollo nacionales o internacionales, subvenciones municipales o fondos públicos.

	total o parcial mediante adquisición de acciones.		mediante intervenciones regulatorias (exenciones de impuestos)	
<i>Propiedad única</i> 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 de autoridades locales o actores del sector público. Pero bajo control regulatorio y aprobaciones.	Provisión interna de financiación - capital privado. La colaboración con las autoridades locales puede garantizar subvenciones, pero influirá en la gobernanza.
<i>Propiedad mixta</i> Asociación (pública y privada)	Acuerdo contractual de empresa conjunta – Unidad temporal de empresas (10% ~ 49%).	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 la superación de las barreras regulatorias para el desarrollo de proyectos y actuar de consumidor ancla. El sector privado puede poseer maquinaria y asumir el diseño, la construcción y la operación.	La administración y la estructura del Directorio seguirán el porcentaje de propiedad y los compromisos adquiridos.	Cada 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 captar las oportunidades financieras.

<i>Propiedad mixta</i> Licitación: Contrato de concesión	Vehículo de propósito especial (SPV - proveedor de Distrito de Frío como servicio público) absorbe la operación durante un período fijo a través de un proceso de licitación.	Las operaciones completas y el diseño técnico son responsabilidad total de la SPV en el período de concesión.	Periodo de licitación: la autoridad local tiene un control limitado. La empresa de servicios energéticos está regulada para evitar la monopolización de la presencia pública en SPV.	Se presentan importantes oportunidades financieras por parte del proveedor de servicios.
--	---	---	---	--

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 hospitales gestionados por CCSS – se pueden plantear tres modelos de propiedad del sistema de Distrito de Frío, dependiendo de quien realiza la inversión:

- Propiedad de la misma institución
- Propiedad de una empresa de servicios energéticos,
- Propiedad mixta

Recomendamos escoger el modelo de propiedad en función de las capacidades de inversión de CCSS. Por la información recibida, parece que CCSS está planificando diversas inversiones, en edificios hospitalarios, de magnitud significativa. Si la capacidad inversora de CCSS es adecuada para afrontar la implantación del Distrito de Frío propuesto, recomendamos apostar por el primer modelo. En el caso de optar por algún otro modelo, se recomienda verificar el eventual interés de la empresa pública ICE y CNFL en participar en el proyecto.

Al tratarse de un sistema de Distrito de Frío institucional, si este es 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 de los hospitales conectados al sistema.

8 Impactos Socioambientales

1.1 Contribución de Distritos de Frío al cumplimiento de políticas ambientales del país³

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.

³ El apartado 8.1 fue elaborado por los profesionales del MINAE

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.

- 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.

1.2 Reducción del impacto ambiental de la climatización de los hospitales de CCSS en el distrito tercero del cantón de San José

En los ciclos basados en sistemas refrigerantes por compresión, siempre existe un efecto asociado a la utilización de refrigerantes. Estos son los sistemas más habituales de generación de frío, aunque el hecho de realizar proyectos a gran escala nos facilita el hecho de poder conseguir máquinas con ciclos frigoríficos más eficientes y con refrigerantes mucho más sostenibles y que cumplan los criterios, cada vez más estrictos con respecto a su potencial de cambio climático (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.

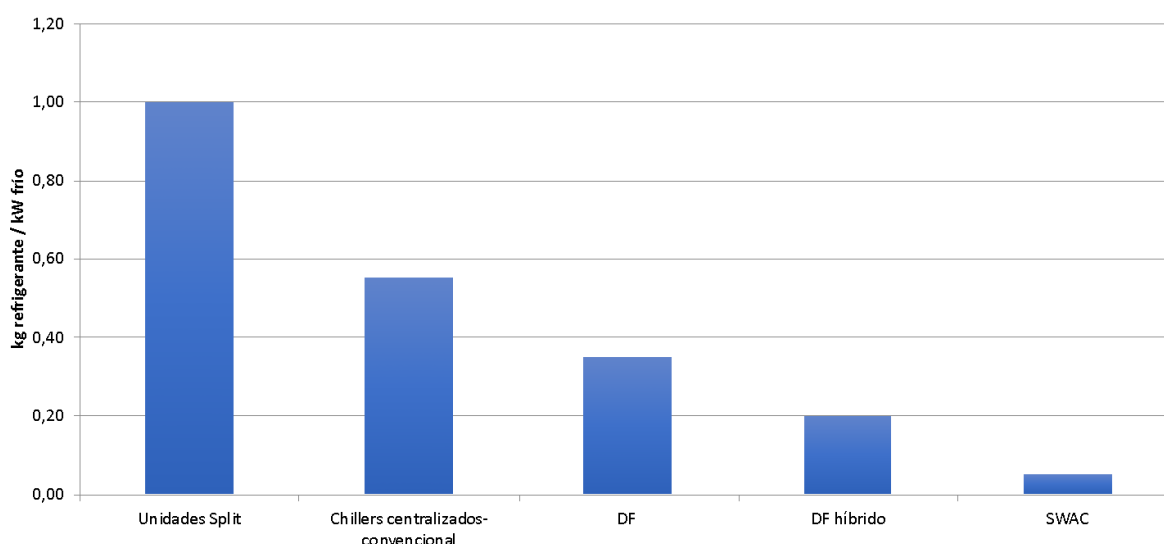


Gráfico 45: Cantidad de refrigerante típica para diferentes soluciones

A partir de las placas de equipos principales actualmente instalados y teniendo en cuenta una combinación de unidades de expansión directa, obtenemos los siguientes resultados de ahorro en kg de refrigerante:

- Equipos centralizados: 360 kg de R-410A con PCG de 2.088 – equivalente a 1.035 toneladas de CO₂
- Equipos de expansión directa: 1110 kg de R-410A con PCG de 2.088 – equivalente a 2.035 tCO₂

En total, actualmente hay una carga de refrigerante R-410A de unos 1.470 kg.

Aquí consideramos los valores de fugas de refrigerante de un 10%⁴ para sistemas medianos y pequeños, y un 5% para enfriadoras grandes, valores que corresponden a datos de operación real. El impacto del sistema actual de aire acondicionado de los dos hospitales de la CCSS es equivalente a unas 255 toneladas de CO₂ al año.

El distrito de frío previsto utilizará 855 kg de refrigerante, que debería ser de tipo HFO o de la familia de refrigerantes naturales, como el R290, que tienen el PCG entre 1 y 4. EL PCG del total de refrigerante del distrito de frío será inferior al equivalente de 3,4 tCO₂, mientras que las potenciales fugas resultan en un valor inferior a 0,1 tCO₂ equivalente, al año.

Tabla 207: Cantidad de refrigerante para las dos opciones

	Refrigerante (kg refrigerante)	PCG total (tCO ₂ equivalente)	PCG de fugas (tCO ₂ /año)
Caso base	1.470	3.070	255
Caso Distrito de Frío	855	< 3,4	<0,1

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 \$/tCO₂, que es el precio promedio del año en curso de derechos de emisión del CO₂ según el Sistema europeo de negociación de CO₂. Incluyendo este valor, de momento intangible para el proyecto de distrito de frío, la TIR sube del 10,3% al 10,8%.

Como segunda referencia se asume el valor de 220 \$/tCO₂, que es el valor equivalente de impacto socio económico calculado por las expertas de la Universidad de Stanford⁵. Incluyendo este valor en el flujo de caja la TIR sube del 10,3% al 12,1%.

⁴ City of Seattle Refrigerant Emissions Analysis GHG Emissions Calculation Methodologies (2020)

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

9 Identificación de riesgos

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

A continuación, se comentan algunos riesgos particulares identificados en el caso concreto del Distrito de Frío del ámbito hospitalario estudiado.

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 los hospitales de CCSS y contratación de nuevos clientes.

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 o “*stakeholders*” de primer nivel tengan la capacidad de financiar o atraer financiamiento para las fases de desarrollo previstas en su debido tiempo. La carencia de dicho financiamiento y estructura plantea un riesgo potencial en cualquier desarrollo de sistemas de Distrito de Frío.

9.3 Saturación de los espacios de paso de la red

Dada la saturación de las parcelas donde se ubican los hospitales, pueden existir dificultades para construir la red de distribución. Las tuberías principales a la salida de la central son de diámetros generosos y peso considerable, cosa que imposibilita su paso por las cubiertas de edificios, pues tienen que ser enterradas. Luego, con la red de dimensiones más reducidas, que puede discurrir por las cubiertas, puede haber puntos de saturación con instalaciones ya existentes.

9.4 Restricción de capacidad de intervención edificios patrimoniales

La mayoría de los edificios del Hospital San Juan de Dios, así como el edificio CHAPUI del Hospital de Niños, son patrimonio arquitectónico y en algunos casos histórico. La posibilidad de intervención en este tipo de edificios está limitada, y en algunos casos totalmente prohibida. En el estudio se ha planteado, de forma conservadora, el

suministro a los espacios actualmente climatizados. Los espacios con necesidad de climatización en el Hospital San Juan de Dios seguramente podrían aumentar, pero la condición de edificios patrimoniales requiere máxima prudencia. Se recomienda estudiar la posibilidad de climatización con el sistema de Distrito de Frío dentro de proyectos de remodelación de edificios de este hospital.

9.5 Imposibilidad de conversión de determinados edificios

Podrían existir razones técnicas o espaciales que podrían impedir la conversión de alguno de los edificios o espacios de los que se pretenden conectar al sistema de Distrito de Frío. Se ha identificado el problema de alturas limitadas en algunos espacios. Como primera sugerencia para resolverlo, se propone trabajar con ductos de textil de perfil bajo y adosados al techo o a las esquinas. Para verificar la viabilidad de esta solución y, en general acotar este riesgo, sería necesario hacer una auditoría orientada a esta cuestión.

9.6 Riesgo operacional

Aunque los sistemas Distritos de Frío han demostrado ser muy fiables, el riesgo de interrupción del suministro de enfriamiento debe priorizarse en el diseño y 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. En sistemas maduros, no solo aumentará la redundancia de producción, sino también la capacidad de crear rutas de distribución redundantes. En grandes sistemas los 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. Dado que el presente caso aloja la central de producción dentro del recinto hospitalario este ya representa el sistema local. Además de lo descrito se debe tomar en cuenta el respaldo del suministro eléctrico, siendo que las operaciones hospitalarias no pueden verse afectadas, habiendo actividades críticas 24/7 365d.

10 Conclusiones y recomendaciones

Se puede concluir que nos encontramos delante de un caso prometedor, con un buen potencial de desarrollo de Distrito de Frío, sobre todo teniendo en cuenta las ampliaciones previstas de los dos hospitales y una potencial inclusión del Hospital Blanco Cervantes.

La falta de disponibilidad de recursos naturales (río, lago, mar) no impide que podamos justificar la implementación de una red de enfriamiento respecto a la situación actual. Con unas inversiones que ascienden **a 5,65 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 10,3% a 20 años. La ventaja del Distrito de Frío se basa en la mejora de la eficiencia de equipos de producción de frío y acceso a mejores tarifas eléctricas.

10.1 Sistema propuesto

La configuración final del sistema de Distrito de Frío del conjunto de hospitales de CCSS consiste en: una planta de producción situada en el ámbito del hospital San Juan de Dios propuesto por los profesionales de CCSS, en proximidades del emplazamiento de los chillers existentes, La producción se realiza con tres enfriadoras eléctricas de carga base, de una capacidad total de 3.300 kW con tres torres de enfriamiento separadas, de una capacidad total de 4.125 kW, y una enfriadora eléctrica de carga punta que es unidad integrada refrigerada por aire con una capacidad de 1.000 kW. La capacidad total prevista es de 4.300 kW.

Se propone realizar la distribución de agua helada por las cubiertas de los edificios, a semejanza del actual sistema de distribución de vapor, ya que la densidad de ocupación de terrenos por los edificios no permite una ruta clara para un trazado soterrado; puntualmente se cuenta con tramos soterrados.

Se recomienda utilizar las ETS con conexión indirecta, con intercambiadores de calor. La distribución interna en algunos edificios o espacios puede ser compleja por la falta de espacios adecuados. Esto es especialmente acusado en los espacios con una altura limitada. Por esto se recomienda trabajar con ductos de textil en la impulsión de aire de climatización.

El salto térmico de la distribución considerado es de 6 °C. No se ha contado con un salto térmico mayor para poder compatibilizar los elementos de distribución interior y difusión existentes. En la fase de desarrollo de ingeniería cabe intentar optimizar el salto térmico, si las instalaciones existentes lo permiten.

Se propone mantener las dos enfriadoras existentes en el hospital de San Juan de Dios, ubicadas en la proximidad del emplazamiento de la planta de producción del Distrito de Frío, que podrían permanecer como respaldo en la arquitectura de sistema sugerida. El resto de los equipos existentes quedaría fuera de servicio.

10.2 Inversiones necesarias y resultados financieros

La inversión total necesaria para configurar el Distrito de Frío para los dos hospitales, incluyendo la conversión de los espacios que actualmente operan con sistema de expansión directa, y teniendo en cuenta el desarrollo previsto por CCSS, es de 5,65 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, ahorros eléctricos debido al cambio de tarifas, costos evitados de inversión, y ahorros de operación y mantenimiento para el sistema de Distrito de Frío en comparación con el sistema actual de todos los edificios. Los ahorros en consumo eléctrico se sitúan en 385 kUSD al año. En los cálculos de ahorro, no se incluyen los edificios nuevos, por construir ya que se considera que los nuevos edificios se pueden equipar con sistemas centralizados y enfriadores de alta eficiencia. 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. Como costos evitados también se incluye la reducción en el mantenimiento. Aquí se considera la reducción de costos en mantenimiento de unidades de expansión directa.

En cuanto a los resultados del análisis de viabilidad financiera, los indicadores resultantes se consideran prometedores con un valor actual neto (VAN) de 1.841.895 US\$, una tasa interna de retorno del 10,3% y un tiempo de retorno de inversión del proyecto de 10 años.

Además de una solución económicamente competitiva, la introducción de un Distrito de Frío en los dos hospitales de CCSS aportaría beneficios medioambientales ya que supone una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que se reduciría la cantidad de gases refrigerantes equivalente a unas 3.070 tCO₂. También se reduciría de forma significativa el impacto de fugas de refrigerantes valorado en unas 255 tCO₂ equivalente, al año.

10.3 Observaciones y recomendaciones

Se ha identificado una serie de opciones que podrían mejorar los indicadores financieros, pero cuya aplicación no se ha podido contrastar en la presente fase del estudio. Estas son:

- Uso de acumulación de agua helada, que permitiría mejor gestión de tarifas eléctricas y una reducción de capacidad de equipos de frío; en este momento no queda claro si existe espacio disponible para esta mejora.
- Uso de calor de gases de combustión de las calderas de producción de vapor, en una enfriadora de absorción; en este momento no está claro si la lavandería, un gran consumidor de vapor, permanecerá dentro del recinto hospitalario actual.
- Introducción de una bomba de calor de producción simultánea de agua helada y agua caliente, en sustitución de una enfriadora. Esta bomba de calor trabajaría a una eficiencia mayor. Esta opción

puede cobrar sentido si se traslada la lavandería y se replantea el sistema actual de producción y distribución de vapor.

Finalmente, las cuestiones de protección de edificios patrimoniales o eventuales limitaciones en la distribución interna en los edificios, debido a la falta de espacio o de altura para ubicar circuitos hidráulicos o de aire, representa riesgos más destacables en este caso.

Se recomienda focalizar la dedicación en cuestiones de estructuración y organización del proyecto, para posteriormente retomar las cuestiones técnicas e ingenieriles con más detalles.

En este sentido, sería necesario determinar las voluntades y roles de las partes interesadas, incluyendo en primer lugar la propia CCSS. Si fuera de interés de CCSS se puede verificar el interés de empresas de servicios energéticos, locales o internacionales, para participar en el proyecto. En tal caso cabría empezar por verificar el interés de la empresa pública de generación y suministro eléctrico ICE, que ya ha mostrado el interés en las infraestructuras energéticas tipo Distritos de Frío. Luego, definir el modelo de propiedad y de inversión para el desarrollo del sistema de Distrito de Frío y analizar las opciones de financiación.

En los futuros trabajos de ingeniería, es necesario tener siempre presente que el aumento del salto térmico en la red de distribución aporta beneficios ya que disminuye los costos operativos. Por esto, se recomienda diseñar los componentes de climatización, de los edificios o espacios que necesitan conversión y de los nuevos edificios, con criterios de maximización del salto térmico en la red de distribución.