



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



**BIBLIOTECA INFOTEC
VISTO BUENO DE TRABAJO TERMINAL**

Maestría en Dirección Estratégica de las Tecnologías de Información y Comunicación
[MDETIC]

Ciudad de México, a 12 de noviembre de 2024

**UNIDAD DE POSGRADOS
PRESENTE**

Por medio de la presente se hace constar que el trabajo de titulación:

“Operación de un sistema de enfriamiento Chiller con energía limpia para un Centro de Datos”

Desarrollado por la alumna: **Sandra Lucía Vera Mata**, bajo la asesoría del **Dr. Víctor Miguel Hernández Maldonado**, cumple con el formato de Biblioteca, así mismo, se ha verificado la correcta citación para la prevención del plagio; por lo cual, se expide la presente autorización para entrega en digital del proyecto terminal al que se ha hecho mención. Se hace constar que la alumna no adeuda materiales de la biblioteca de INFOTEC.

No omito mencionar, que se deberá anexar la presente autorización al inicio de la versión digital del trabajo referido, con el fin de amparar la misma.

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviar un cordial saludo.

Mtro. Carlos Josué Lavandeira Portillo
Director Adjunto de Innovación y Conocimiento

CJLP/dqor

C.c.p. Felipe Alfonso Delgado Castillo.- Gerente de Capital Humano.- Para su conocimiento.

Sandra Lucía Vera Mata.- Alumna de la Maestría en Dirección Estratégica de las Tecnologías de Información y Comunicación.- Para su conocimiento.

**INFOTEC CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN**

“Operación de un sistema de enfriamiento *Chiller* con energía limpia para un Centro de Datos”.

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO LABORAL

Que para obtener el grado de
**MAESTRA EN DIRECCIÓN ESTRATÉGICA DE LAS TECNOLOGÍAS DE
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN**

Presenta:

Sandra Lucía Vera Mata

Asesor:

Dr. Víctor Miguel Hernández Maldonado

Ciudad de México, octubre 2024

Agradecimientos.

Mientras escribo estas líneas, hay alguien que espera su cena, a Oscar que toda su vida me ha acompañado en mi formación académica desde TSU, después mi ausencia por las tardes cuando concluí la ingeniería, posteriormente siguieron los sábados para la maestría. Por todo ello, ¡Gracias!

A mis papás por todas sus enseñanzas no solo en lo académico, sino en cada paso que he dado en la vida. A mi papá mi admiración total por su capacidad de análisis que no deja de sorprenderme, por su visión en cualquier escenario que se encuentre y por haberme enseñado con su ejemplo a trabajar todos los días por lo que cree, a mi mamá por su dedicación a formar una hermosa familia, por enseñarme a hacer divisiones a mano, por su sonrisa constante y por su imparable energía. Al Dr. Víctor Miguel Hernández Maldonado, por aceptarme nuevamente después de casi dejar el camino. Al Ing. Eustasio Sánchez por darme la oportunidad de participar para una beca.

Al equipo de Centro de Datos y de forma especial a los Ingenieros Julio Rosales, Irving Martínez y Aldo Martínez por su apoyo en revisión de cálculos para no cometer imprecisiones.

Tabla de contenido.

Introducción.....	5
Glosario de términos y definiciones.....	8
Capítulo 1. Centro de Datos.	12
Capítulo 2. Enfriamiento en un Centro de Datos.	17
Capítulo 3. Estrategia con energía limpia.	23
Cálculo.....	24
Conclusiones.	27
Anexo 1.....	29
Bibliografía.....	30
Referencias generales	34

Introducción.

1. Temperatura ideal de la CPU:

- La temperatura ideal de una **Unidad Central de Procesamiento** (CPU, por sus siglas en inglés "*Central Processing Unit*") oscila entre **45 y 60°C** en reposo.
- En las computadoras personales (**PC**, por sus siglas en inglés "**Personal Computer**") de alta gama para videojuegos, se observa que la temperatura puede llegar a los **95°C** por periodos cortos de tiempo.
- Este rango de temperatura es **típico** para equipos con una adecuada **refrigeración**, especialmente en **entornos domésticos** o de uso intensivo, como los videojuegos o diseño gráfico.

2. Temperaturas en salas de servidores:

- En contraste, las **salas informáticas** o centros de datos (**DC**) "*Data Center*". Centro de datos (por sus siglas en inglés.) que contienen servidores, es decir, muchas computadoras en un espacio reducido, suelen mantener la temperatura entre **18 y 27°C**.
- Esta diferencia significativa en las temperaturas implica la necesidad de implementar sistemas de **enfriamiento eficiente** en ambientes donde los servidores operan constantemente, lo que inevitablemente implica un mayor consumo energético.

3. Importancia del monitoreo y control de temperatura:

Surge la pregunta: ¿Por qué es importante supervisar las mediciones de la temperatura en un DC?

- Es fundamental monitorear la temperatura en las salas de servidores, ya que actualmente estas infraestructuras son herramientas esenciales en el uso diario. En un Centro de Datos (DC), **La temperatura se convierte en un problema** ya que debido a la alta concentración de

sistemas de cómputo en espacios reducidos (42 servidores por rack” “un **rack** es una estructura metálica utilizada para montar y organizar equipos electrónicos”. Una temperatura excesivamente elevada puede poner en grave riesgo los equipos, llegando al punto de ocasionar daños irreparables, como el sobrecalentamiento o la quema de componentes.

- La **refrigeración** es crucial para evitar sobrecalentamientos, y, por tanto, se deben utilizar precisos sistemas de control.
- Estos sistemas no solo deben mantener las temperaturas óptimas para el funcionamiento de los servidores, sino también asegurar que la energía sea consumida de manera eficiente, para evitar su desperdicio.

4. Consumo de energía de los sistemas de enfriamiento:

- Los sistemas de enfriamiento de las salas de servidores consumen una gran cantidad de energía eléctrica.
- Esto deriva en un **costo elevado** en el recibo de electricidad, lo que compromete una atención, tanto económica como ambiental.
- El costo energético de operar estos sistemas es un factor importante que las empresas y centros de datos forzosamente deben considerar.

5. Estrategia para la eficiencia energética y el impacto ambiental:

- Se propone una **estrategia** para mejorar el consumo eficiente de energía eléctrica de sistemas de enfriamiento mediante el uso de energía limpia.
- Al integrar fuentes de energía limpia en los sistemas de refrigeración, queremos pensar que se lograría no solo una reducción considerable en el consumo energético, sino también una disminución del impacto ambiental de los centros de datos.
- En este trabajo se pretende proponer que el sistema de enfriamiento de un DC funcione de manera más efectiva, es decir, que eficientemente

consume energía eléctrica y desempeñe su apropiado funcionamiento.
Lo que se traduce en mejoras operativas.

En resumen, aquí se resalta la importancia del control de temperatura en los sistemas de enfriamiento de centros de datos y se propone una solución sostenible basada en energía limpia para reducir el consumo energético y el impacto ambiental.

Glosario de términos y definiciones

ASHRAE. "*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.*", es la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, (por sus siglas en inglés).

Carga crítica. Energía que consumen los servidores dentro de las salas de piso blanco.

Carga térmica. Calor que genera un rack.

Chiller. Es una unidad generadora de agua helada con sistema cerrado.

Chillers. Es el plural de **Chiller**, es decir, son unidades generadoras de agua helada con sistema cerrado. Se considera la aclaración ya que en este trabajo se mencionan repetidamente.

CPD. Centro de Procesamiento de Datos

CPU. "*Central Processing Unit*". Unidad Central de Procesamiento (por sus siglas en inglés).

CUE. "*Carbon Use Efficiency*". Eficacia del uso del carbono (por sus siglas en inglés).

Densidad. Se considera como la cantidad de carga térmica a disipar que puede encontrarse en un solo rack.

DC. "*Data Center*". Centro de datos (por sus siglas en inglés).

ET. Edificio de Tecnologías.

Electroducto. Un electroducto es un sistema de tuberías o canalizaciones utilizado para proteger y organizar el cableado eléctrico, facilitando la distribución de energía en edificios, instalaciones industriales o centros de datos. Su función principal es alojar y resguardar los cables eléctricos, evitando daños físicos, cortocircuitos o interferencias electromagnéticas.

Los electroductos son esenciales para mantener el cableado ordenado y seguro, especialmente en entornos con gran cantidad de equipos eléctricos, como centros de

datos. Pueden estar instalados bajo el suelo, en techos o paredes, y ayudan a prevenir sobrecalentamientos y accidentes, además de facilitar el acceso al cableado para el mantenimiento o futuras modificaciones.

HA. “*High Availability*”. Alta disponibilidad (por sus siglas en inglés).

IA. Inteligencia artificial.

PC. “*Personal Computer*”. Computadora personal (por sus siglas en inglés).

Piso blanco. El piso blanco se refiere a una sala especializada dentro de un centro de datos o instalaciones tecnológicas, diseñada para albergar equipos críticos como servidores, sistemas de almacenamiento y equipos de redes. Su nombre proviene del hecho de que el suelo suele ser de color blanco o claro, lo que mejora la iluminación del entorno y facilita la visibilidad para el mantenimiento y operación.

Este tipo de piso, conocido también como **piso elevado**, está compuesto de baldosas removibles que se instalan sobre una estructura elevada, creando un espacio entre el suelo real y la superficie de trabajo. Este espacio se utiliza para canalizar cables, conductos de aire acondicionado y sistemas de refrigeración, permitiendo una mejor organización y enfriamiento de los equipos.

El **piso blanco** es esencial en centros de datos para garantizar la **distribución del aire frío**, la **seguridad** y la **eficiencia energética** en la operación de los equipos tecnológicos.

PUE. “*Power Usage Effectiveness*”. Eficacia del uso de energía (por sus siglas en inglés).

Rack. Es una estructura metálica utilizada para montar y organizar equipos electrónicos, especialmente en centros de datos y salas de servidores. Estos racks están diseñados con estantes o bastidores estandarizados que permiten alojar servidores, sistemas de almacenamiento, routers, switches y otros dispositivos de red de manera ordenada y eficiente. Los racks ayudan a optimizar el uso del espacio, mejorar la ventilación y facilitar el acceso para mantenimiento o actualizaciones de hardware. Además, permiten la correcta gestión de cables y la instalación de sistemas de refrigeración para evitar el sobrecalentamiento del equipo.

Redundancia. Dentro de un DC es un componente que se encuentra en espera para entrar en operación cuando el que se encuentra en línea falla

TI. Tecnologías de Información.

U. Unidades de Rack.

UGAH. Unidad Generadora de Agua Helada.

WUE. “*Water Use Efficiency*”. Eficacia del uso del agua (por sus siglas en inglés).



Capítulo 1

Centro de Datos.

Capítulo 1. Centro de Datos.

Un centro de datos son instalaciones físicas centralizadas donde se aloja un gran número de computadoras, redes, almacenamiento y otros equipos de *Tecnologías de Información* (TI). Aquí las computadoras contienen o facilitan aplicaciones, servicios y datos esenciales para sus clientes los cuales requieren estar disponibles las veinticuatro horas del día, los siete días de la semana (24/7).

Es importante decir que, en el presente, los Centros de Datos son clave porque muchos procesos, como trámites, transacciones financieras, historiales médicos y operaciones de empresas, se están moviendo al mundo digital. Estos datos deben almacenarse de forma segura, protegidos y disponibles cuando se necesiten. Si la información se maneja fuera de un Centro de Datos, sería más difícil controlarla y garantizar su seguridad. En el futuro inmediato, el desarrollo de la inteligencia artificial (IA) con sus diversas aplicaciones, implica servidores con mayor capacidad de procesamiento, y a mayor procesamiento, tenemos inherentemente, mayor temperatura, y la necesidad de disminuirla para evitar complicaciones.

Un DC contiene un número elevado de equipos tecnológicos (Google, por ejemplo, tiene 900,000 servidores [1], y algunos cuentan con 42 equipos en menos de un metro cuadrado [2] (Figura 1). Al observar la Figura 1 es posible observar que aflora la necesidad de contar con un sistema de enfriamiento eficiente. Muchos centros de datos son enfriados con métodos de ventilación y consecuentemente consumen una gran cantidad de energía eléctrica.

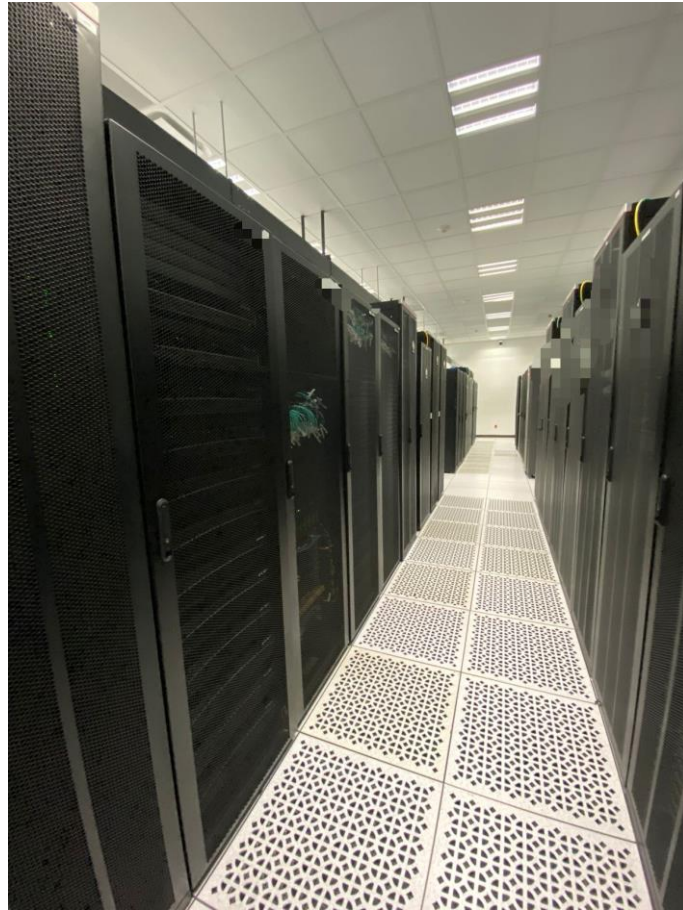


Figura1. Sala de baja densidad con gabinetes que contienen hasta 42 servidores por rack en un Centro de Datos de región bajo. Foto de origen propio, la alumna capturó esta foto de un centro de datos.

Esencialmente un Centro de Datos, sus instalaciones de soporte y su adecuada administración, es la concentración de una gran cantidad de ordenadores y equipos de TI con información crítica para organizaciones [3] donde se lleva a cabo el procesamiento de información que en la actualidad es vital para la mayor parte de la población mundial como operaciones bancarias, trámites gubernamentales, medios sociales, educación en línea, compra y venta de artículos físicos o virtuales, por mencionar algunos usos.

El Edificio de Tecnologías (ET), es donde se localizan los equipos que soportan al Centro de Procesamiento de Datos (CPD) [ídem], éste generalmente cuenta con un piso técnico de color blanco, que se conoce como “piso blanco o área blanca” [ídem] se le llama así porque se tiene precaución de mantener buena calidad de aire y sin contaminantes para que los equipos puedan trabajar en condiciones óptimas. Dado lo anterior, todos los esfuerzos se encuentran orientados a “soportar” la carga o energía que consumen estos equipos, la cual se conoce como “carga crítica” y su

objetivo es garantizar una alta disponibilidad (por sus siglas en inglés (HA) High Availability y operación continua [4].

Los Centros de Datos surgen con la evolución misma de las computadoras, derivado de la necesidad entre muchas otras, de contar con un espacio aislado en el que factores ambientales como la humedad, el calor disipado, la seguridad física, el cableado y acceso a los equipos, puedan ser controlados [5].

Instituciones y organismos internacionales, se han dado a la tarea de clasificar los Centros de Datos de acuerdo a diversos factores, como el tiempo en el cual pueden estar fuera sus servicios en un periodo de un año el cual miden en minutos u horas, teniendo como resultado la disponibilidad del DC. Entre menos tiempo se encuentre “fuera”, mayor disponibilidad tiene, indicando el resultado en porcentaje.

Dentro de la infraestructura soporte necesaria para un DC que estos organismos mencionan, podemos considerar que los sistemas de alimentación, de refrigeración, supresión de incendios y seguridad en el entorno son una constante que encontramos dentro de las instalaciones en todos ellos [6]. El impacto que tienen en mantener la disponibilidad en los DC depende de su capacidad para operar con la mínima interrupción posible y para ello, se tienen “redundancias”.

Una redundancia dentro de un DC es un componente que se encuentra en espera para entrar en operación cuando el que se encuentra en línea falla [7], lo cual resulta muy importante para las organizaciones porque reduce el riesgo de caída, permitiendo su conmutación automática, en algunos casos, estas redundancias se identifican como N , $N + 1$, $2N$ y $2(N+1)$, considerando que la N es el mínimo número de equipos que se necesitan para que el DC opere [ídem].

En el piso blanco, podemos encontrar “salas” que es posible clasificar de acuerdo al calor que generan (carga térmica por rack), un rack es un gabinete en el cual se colocan los equipos de TI [8], y en algunos rack se cuenta con espacio de 42 equipos, lo cual es conocido como Unidades de Rack (U) [9] y esto resulta útil para considerar la energía que necesitan para trabajar los servidores que están dentro de un rack, y el esfuerzo necesario para enfriarlos, elegir el tipo de enfriamiento, y el diseño de la sala. En tal sentido podemos clasificarlas por su densidad de carga en baja, media o alta. La densidad se considera como la cantidad de carga térmica a disipar que puede

encontrarse en un solo rack. Una sala de baja densidad tiene una carga por rack entre 3kw a 5kw, una de media 5kw a 10kw y una de alta entre 10kw a 20kw [10].

Este dato se vuelve relevante cuando nos encontramos en la necesidad de buscar la forma de mitigar el calor de acuerdo al rack que tenemos frente a nosotros para que trabaje de forma adecuada, ya que el flujo de aire es distinto en cada caso [11].

Una forma para medir la eficiencia energética de los centros de datos, es mediante tres indicadores:

1. La eficacia del uso de energía “*Power Usage Effectiveness (PUE)*” [12], que es el cociente entre la energía que ingresa y la cantidad que se utiliza para la infraestructura tecnológica.
2. La eficacia del uso del carbono “*Carbon Use Efficiency*” (**CUE**) [13] que mide las emisiones de dióxido de carbono que emite un centro de datos a diario.
3. La eficacia del uso del agua “*Water Use Efficiency*” (**WUE**) el cual considera los litros de agua anuales para el DC entre los kilovatios-hora que usan los equipos de TI [14].



Capítulo 2

Enfriamiento en un Centro de Datos.

Capítulo 2. Enfriamiento en un Centro de Datos.

Es importante recalcar, que los servidores que almacenan y procesan información, por diseño cuentan con parámetros límite de temperatura, como se menciona en la introducción. A mayor cantidad de procesamiento, mayor temperatura. Si estos parámetros se rebasan, en el mejor de los casos, el equipo se apaga interrumpiendo la tarea que se esté ejecutando en él. Y en el caso extremo, si un componente del DC rebasa los 100°C de temperatura o falla por no monitorearla adecuadamente, puede llegar a explotar afectando no solo a él, sino a equipos vecinos, lo que representa un punto importante a considerar.

Existen otros problemas a los que se puede enfrentar un DC, como son los siguientes:

- Interrupción de la operación debido a daños catastróficos como sismos o terremotos, lo cual impactaría a todo el DC, sin embargo, si el edificio en el que se encuentre está ubicado en zona antisísmica y la construcción está diseñada para 2 grados adicionales a los del terreno, es poco probable que se vea afectado.
- Falta de mantenimiento a UPS, tuberías, sistemas de refrigeración, transformadores, *electroductos*, sistemas de detección y extinción de incendio, plantas de emergencia o subestación eléctrica. Si ocurriera un daño a estos componentes, podría afectar parcialmente la operación, por lo cual es importante contar con más de uno de cada uno y con programas de mantenimiento preventivo y correctivo que se cumplan adecuadamente.
- Accesos no autorizados que pueden afectar a uno o varios clientes. Este riesgo puede mitigarse con el uso de tarjetas de proximidad, dispositivos biométricos, sistemas de video vigilancia y controles de seguridad física. Si el acceso fuera por ciberataque, deberá gestionarse por el área de Ciberseguridad mediante un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI).
- Falla en el suministro de energía eléctrica. Si bien su impacto sería alto en el DC debido a que representaría un daño mayor al impedir la prestación de los servicios que se ofrecen, el contar con plantas generadoras de diésel, o paneles solares, permitiría continuar operando sin afectación a la “carga crítica”.

- Falta de personal crítico. El personal clave, concentra el conocimiento técnico operativo, por lo cual la falta de éste representaría un impacto alto a los procesos por el grado de especialidad que representa, sin embargo, el contar con dos o más operadores por sistema para cubrir situaciones como enfermedad, accidente o falta de algún tipo y su capacitación constante, podría reducir el riesgo.

Estos riesgos, tienen probabilidad de ocurrencia en un centro de datos, sin embargo, el hacer énfasis en el enfriamiento, es debido a dos factores:

- Es el que más consume energía en un DC.
- Si el sistema de enfriamiento falla, las salas no podrían enfriarse, lo que representaría que todos los equipos en ella se apagarán, independientemente si contamos con energía o no.
- La demanda de sistemas de IA representa necesidad de enfriamiento constante a gran escala.

Es por lo anterior, que uno de los sistemas importantes dentro de los servicios que integran el DC, se refiere a las condiciones de climatización interior. Mantener niveles de humedad y temperatura en forma precisa garantiza el buen funcionamiento y prolonga la vida útil de los equipos. Si adicional a ello no perdemos de vista el ahorro de energía y la flexibilidad de funcionamiento, mejoraremos la eficiencia de nuestro DC.

El sistema de enfriamiento en un DC, generalmente ocupa entre el 30-45% del consumo energético total, por esa razón es importante actuar en él para mejorar la eficiencia.

Este sistema son los equipos que permiten que se trabaje a una temperatura recomendada por los fabricantes. Una falla en él, es de las causas más comunes de indisponibilidad, ya sea por incidente en el aire acondicionado o porque el calor aumente y los equipos se apaguen para protegerse de daños [15].

La importancia del enfriamiento es un problema que inherentemente acompaña a los Centros de Datos, tenemos por ejemplo que el calor generado por la computadora ENIAC, llegaba a los 50°C y provocaba apagones en la ciudad de Filadelfia [16], y

con ello podemos dar cuenta que sin una infraestructura soporte que le brinde la energía sin picos como la requieren los equipos electrónicos de hoy en día (110 o 220 volts), y paralelamente atendamos la situación del enfriamiento resultará complicado que la disponibilidad de los Centros de Datos no se vea afectada.

Para lograr esto, algunos centros de datos se localizan en lugares inesperados y estratégicos del planeta. Por ejemplo, *Lefdal Mine Datacenter* [17]. Localizado en las profundidades de la antigua mina de Lefdal (Noruega) [idem], otro es el Facebook data center, en el Círculo Polar Ártico [18].

Existen varias opciones para climatizar un DC, sistemas de enfriamiento directo o indirecto¹ [19] refrigeración líquida directa [20]. Para comprender esto, podemos considerar que el término refrigeración y la necesidad de “enfriar” se remonta a la antigüedad, con aplicaciones como la conservación de alimentos que se obtenían a través de la cacería, mediante la cual se extendía un poco más el alimento obtenido, a través del uso del hielo. En este tipo de sistema, podemos observar un enfriamiento directo. En la actualidad, un sistema directo es el que enfría directamente a través de un medio que regularmente es gas, un ejemplo que vemos todos los días es el refrigerador que tenemos en nuestras casas. Por el contrario, un sistema indirecto es el que usa otro medio porque no puede entrar en contacto directo para enfriar: tal como lo hace una *Unidad Generadora de Agua Helada (UGAH)*, conocidas como *Chiller* a través de agua helada.

Un Chiller es un sistema cerrado de agua helada, por lo cual el líquido utilizado recircula en él, sin necesidad de mayor captación de H₂O, aun cuando su capacidad sea de 204 *Toneladas de refrigeración (TR)*.

En los sistemas de refrigeración indirecta el gas refrigerante es confinado en la zona de generación de frío, allí se transfiere la potencia de refrigeración a un fluido intermedio, mediante un intercambiador. El fluido intermedio, impulsado por un sistema de bombeo, lo transporta a los utilizadores finales tales como Aero-enfriadores, intercambiadores, serpentines de tanques etc. [idem] (Figura 2).

¹ La refrigeración directa se refiere al método en el cual un agente enfría directamente los equipos, la refrigeración indirecta, utiliza otro medio para intercambiar el calor sin entrar en contacto directo con éstos.

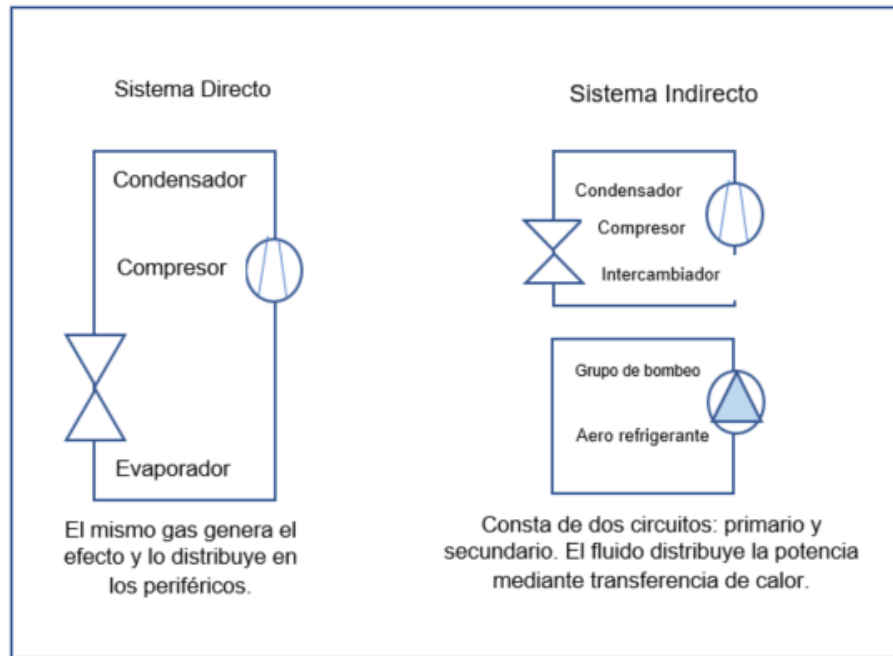


Figura 2. Se observan las diferencias de un sistema de enfriamiento directo (izquierda) y un enfriamiento indirecto (derecha)

En este trabajo se enfatiza la importancia de operar un Chiller con energía limpia [21]. Estos equipos pueden llegar a consumir 271 kW en ciertos modelos [22], en comparación con un rack en una sala de baja densidad, que puede consumir hasta 5 kW. Reducir el consumo de un solo Chiller aligera significativamente el total de energía eléctrica del centro de datos, es por ello que en algunos casos se utiliza en su operación técnicas de eficiencia como el llamado "Free Cooling" (ver Anexo 1). Mencionamos un Chiller porque, en un centro de datos, suele haber más de uno debido a las redundancias necesarias para mantener una alta disponibilidad (HA), como se observa en la figura 3.



Figura 3. Chiller de 204 TR, Foto propia tomada en un Centro de Datos de región bajo.

La guía que orienta el enfriamiento es proporcionada por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés: "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.") [23]. Además de contar con equipos configurados adecuadamente de acuerdo con esta guía, se recomienda que la temperatura de los pasillos fríos esté entre 18 y 27 °C, con una humedad entre 5.5 °C de Punto de Rocío (PR) y 60% de Humedad Relativa (HR) con 15 °C de PR.

Contar con una fuente de energía limpia que permita reducir el consumo del sistema de refrigeración disminuirá el consumo eléctrico, mejorará el PUE y contribuirá a reducir la huella de carbono de los centros de datos. Esto representa una decisión estratégica de gran impacto para el DC.



Capítulo 3

Estrategia con energía limpia

Capítulo 3. Estrategia con energía limpia.

Si un centro de datos (DC) pudiese contar con refrigeración indirecta por agua y más de un *chiller* en su sistema de enfriamiento, sería posible desarrollar una estrategia para abastecer su consumo eléctrico con energía limpia.

La energía utilizada por un centro de datos (DC) puede provenir de diversas fuentes: solar, eólica, quema de combustibles fósiles [24], entre otras. Si se busca utilizar energía limpia, se podría prescindir de la quema de combustibles fósiles y aprovechar los recursos naturales disponibles, como el aire, el sol y el viento.

Considerar únicamente una parte de los componentes de refrigeración, como un *chiller* en este caso, se debe a que un panel genera 405W y mide 2m² [25]. Tomar más de uno ocuparía un espacio significativo en metros cuadrados, incluso para un Centro de Datos como el de China Mobile Hohhot, que cuenta con 7,400m² y más de 100,000 servidores [26], por mencionar un ejemplo.

La solución propuesta consiste en diseñar un sistema fotovoltaico con paneles solares suficientes para generar 271kW, capaz de abastecer la carga del *chiller* mediante un sistema de generación de corriente independiente de cualquier red eléctrica federal o privada (conocido como sistema aislado). Esto permitiría almacenar la energía en baterías para su uso incluso cuando las condiciones ambientales no sean favorables. Para llevar a cabo esta implementación, es necesario considerar un arreglo en serie-paralelo de paneles solares que suministre hasta 271kW, junto con sus inversores y las baterías necesarias para el almacenamiento de energía.

Esta decisión es justificable debido a que una sala de baja densidad con 40 racks ocupados en su totalidad, cada uno con 42 equipos de 1U, consumirá un máximo de 200kW, lo cual es menor al consumo de un *chiller*. Al enfocarse en mitigar los posibles riesgos asociados con el uso de una fuente de energía alternativa en un solo componente, se simplifican los esfuerzos y no se extienden a todos los equipos que ocupan la sala.

Cálculo.

Considerando un consumo de 80KW se presenta el cálculo para un Chiller de 204TR:

Consumo de potencia activa promedio del Chiller:

$$P = 80KW$$

Consumo de potencia aparente promedio del Chiller:

$$S = \frac{P}{FP} = \frac{80KW}{0.9} = 88.88KVA$$

Donde:

FP = Factor de potencia;

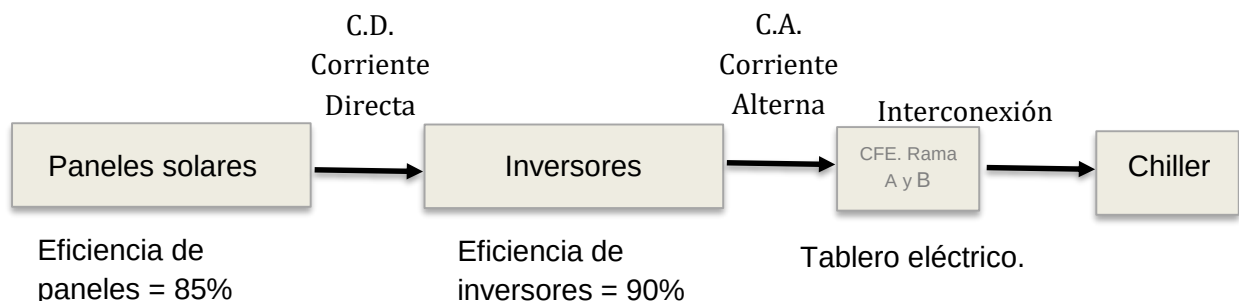
KW = Kilo Watt;

KVA = Kilo volt - ampere;

Consumo diario de energía en kwh y en kVAh:

$$KWh \text{ (Energía activa del Chiller por día)} = 80KW * 24h = 1920KWh$$

$$KVAh \text{ (Energía aparente del Chiller por día)} = 88.88KVA * 24h = 2133.12KVAh$$



Si consideramos una potencia de 250W generada por cada panel fotovoltaico, según sus especificaciones de fábrica:

$$\text{Potencia del panel (fabricante)} = 250W = 250VA \text{ con } FP = 1$$

$$\text{Potencia REAL del panel} = 250VA * .085 = 212.5VA$$

El panel tiene una eficiencia menor al 100%, ya que las temperaturas superiores a 25°C (temperatura ambiente) disminuyen la eficiencia por el incremento de pérdida por calor. El panel produce lo que indica la placa de datos solo en laboratorio, bajo condiciones controladas de temperatura e incidencia de luz solar.

Considerando la potencia perdida en los inversores:

$$\begin{aligned} \text{Potencia entregada por el panel después del proceso de inversión} &= 212.5VA * .9 \\ &= 191.25VA \end{aligned}$$

Podemos concluir que la potencia de fábrica, basada en datos de laboratorio, se reduce de 250VA a 191.25VA, un dato crucial a considerar para el cálculo real.

Continuamos con el cálculo de la energía producida por cada panel en un día:

$$\begin{aligned} \text{Energía aparente producida por panel por día} \\ &= \text{Potencia entregada por el panel después del proceso de inversión} \\ &\quad * 6 \text{ horas} \end{aligned}$$

El tiempo en horas corresponde a las horas efectivas de radiación solar, las cuales dependen de la zona geográfica. Por lo tanto, hemos considerado un promedio de 6 horas.

Sustituyendo:

$$191.25VA * 6h = 1147.5VAh = 1.1475KVAh$$

De acuerdo al cálculo, se requiere la siguiente cantidad de paneles:

$$\begin{aligned} \text{Número de paneles solares necesarios} \\ &= (\text{Energía diaria requerida por el chiller (kWh/día)}) \\ &\quad / (\text{Energía diaria producida por un panel de 250W (kWh/día)}) \end{aligned}$$

Dónde: Número de paneles solares necesarios son de 250W

Sustituyendo tenemos:

$$\frac{2133.12KVAh}{1.1475KVAh} = 1858.93 = 1859 \text{ paneles}$$

Para cubrir el 100% de la demanda energética del chiller, que opera de manera continua las 24 horas del día, se necesitarían 1,859 paneles solares. Cada panel ocupa un área de 1.6 m², por lo que se requeriría un espacio total de 2,974.4 m².

Es importante mencionar que el hecho de considerar el uso de paneles solares para apoyar el consumo de los sistemas de enfriamiento, toma en cuenta la reducción de huella de carbono al utilizar energías más respetuosas con el ambiente, observando la ubicación geográfica de México. El uso de tecnología eólica en la región, no es viable en zona bajío por sus condiciones climatológicas. Existe la opción de centros de datos en zonas con temperaturas menores, sin embargo, implicaría trasladar los datos fuera del territorio nacional lo cual implica riesgos de seguridad de la información. Una opción de reciente desarrollo que sería interesante explorar es el enfriamiento líquido, lo cual reduciría las emisiones de carbono, y mejoraría la eficiencia energética, sin embargo, las implicaciones en una falla de estos sistemas deben estudiarse ampliamente antes de su implementación y su instalación requiere adecuaciones adicionales a las salas, lo cual representa además de la adquisición de una tecnología nueva, una inversión económica considerable.

Conclusiones.

Implementar sistemas de enfriamiento, como los Chillers, alimentados por paneles solares en centros de datos (DC) es una estrategia que ofrece una serie de beneficios significativos tanto a nivel energético como ambiental. Aunque la instalación de un sistema fotovoltaico en un DC puede requerir un área considerable, los impactos positivos derivados de su adopción justifican ampliamente esta inversión.

En primer lugar, la mejora en la eficiencia energética es uno de los principales argumentos a favor de esta implementación. Los paneles solares tienen el potencial de reducir drásticamente el consumo de energía de la red eléctrica convencional, lo que se traduce en una disminución de los costos operativos asociados con el enfriamiento del DC. La capacidad de los paneles solares para generar electricidad limpia durante las horas de sol puede cubrir una parte significativa de la demanda energética de los Chillers, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía no renovables y minimizando las fluctuaciones en los costos de energía.

Desde una perspectiva financiera, la inversión inicial en paneles solares puede parecer elevada, pero a largo plazo, los ahorros en las facturas de energía y los incentivos fiscales disponibles para las energías renovables pueden resultar en una recuperación rápida de la inversión. Además, el costo de los paneles solares ha disminuido significativamente en los últimos años, haciendo que esta opción sea cada vez más asequible.

El impacto ambiental de utilizar energía solar para alimentar Chillers es otro aspecto crucial. Los centros de datos, que son esenciales para la infraestructura tecnológica de la "moderna civilización humana", tienen una huella de carbono significativa debido a su alto consumo de energía. Al integrar sistemas fotovoltaicos, se puede reducir considerablemente la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático y promoviendo la sostenibilidad. *La energía solar es una fuente renovable que no emite contaminantes, lo que ayuda a preservar el medio ambiente y mejora la imagen corporativa de las empresas al alinearse con prácticas ecológicas.*

Sin embargo, es importante considerar que el espacio necesario para la instalación de paneles solares puede ser un desafío en algunos centros de datos, especialmente en áreas urbanas donde el espacio es limitado. En estos casos, es fundamental evaluar la viabilidad del proyecto en función del área disponible y explorar alternativas. Una opción que merece consideración es el enfriamiento líquido, que puede ser una solución eficiente en términos de espacio. Este enfoque implica la utilización de líquidos refrigerantes para transferir el calor desde los componentes del centro de datos hacia sistemas de enfriamiento centralizados, lo que puede reducir la necesidad de una gran cantidad de paneles solares al hacer un uso más eficiente del espacio disponible.

En conclusión, la implementación de sistemas de enfriamiento con **Chillers** alimentados por **paneles solares** ofrece una gran oportunidad para mejorar la **eficiencia energética**, reducir los **costos operativos** y disminuir el **impacto ambiental** en los centros de datos. Aunque su instalación requiere una planificación detallada y una evaluación adecuada del espacio disponible, los beneficios a largo plazo, tanto en **sostenibilidad** como en **ahorro económico**, hacen de esta solución una estrategia muy prometedora para el futuro de las infraestructuras tecnológicas. Por **sostenibilidad** me refiero a la capacidad de mantener un equilibrio entre el uso eficiente de los recursos y la reducción del impacto ambiental a largo plazo. En el contexto de este trabajo, implica que los sistemas de enfriamiento con **Chillers** alimentados por **energía solar** no solo contribuyen a reducir el consumo de electricidad y costos, sino que también ayudan a minimizar las emisiones de carbono y el uso de fuentes de energía no renovables. Esto garantiza que el centro de datos pueda operar de manera más respetuosa con el medio ambiente y con menos dependencia de fuentes de energía contaminantes o limitadas.

Anexo 1.

→ Free – Cooling.

Este concepto puede ser explicado en la vida cotidiana si consideramos que en nuestra casa abrimos una ventana en época invernal y estamos cocinando. En la teoría el aire frío entrará manteniendo fresco el ambiente, sin embargo, para que ello pueda ocurrir primero existirá una mezcla de temperaturas en exterior e interior, y el extraerlo requiere un esfuerzo que, si es medido, también debe ser considerado.

El Chiller, en este caso, considera el aire externo para refrigerar un espacio, lo cual puede ser aprovechado en los meses de diciembre y enero en climas que no desciendan a -10°C , ya que, para los servidores, la humedad que reciben es importante para que se desempeñen de forma adecuada [28].

Al día de hoy, los DC pueden trabajar en un rango de 18°C - 27°C [24].

Bibliografía.

- [1] **MuyCanal.** (s.f.) Las 5 empresas con más servidores en centros de datos. [En línea] Disponible en: <https://www.muycanal.com/2013/07/15/empresas-centros-de-datos>. Consultado el 8 de julio de 2024.
- [2] **Schneider Electric.** Gabinete NetShelter SX 42U 750 mm de ancho x 1070 mm de profundidad, con paneles laterales, negro. Disponible en: <https://www.apc.com/pe/es/product/AR3150/gabinete-netshester-sx-42u-750mm-de-ancho-x-1070-mm-de-profundidad-con-paneles-laterales-negro/>. Consultado el 3 de marzo de 2024.
- [3] **International Computer Room Experts Association.** (2021). Norma internacional para la construcción e instalación de equipamiento de ambientes para el equipo de manejo de tecnologías de información y similares. (1.a ed.). México: International Computer Room Experts Association. p. 29. Consultado el 3 de noviembre de 2023.
- [4] **DCD.** (2017). El data center, componente crítico de la continuidad de negocio. [En línea] <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/el-data-center-componente-cr%C3%ADtico-de-la-continuidad-de-negocio/> Consultado el 10 de noviembre de 2023.
- [5] **BlogThinkBig.** (2013). Servidores históricos: los primeros centros de datos. [En línea]. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/servidores-historicos-primeros-centros-de-datos>. Consultado el 11 de diciembre de 2023.
- [6] **Cisco.** ¿Qué es un centro de datos? [En línea]. Disponible en: https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/data-center-virtualization/what-is-a-data-center.html. Consultado el 11 de diciembre de 2023.
- [7] **Joel Pacheco Gonçalves,** "Redundancia en simples palabras: N+1 vs 2N", MDC Data Centers, 21 de diciembre de 2015, <https://www.mdcdatcenters.com/es/company/blog/avoid-risks-and-go-for-2n-power-redundancy/#:~:text=El%20principio%20de%20redundancia%20en,un%20operador%20para%20la%20conmutaci%C3%B3n.> Consultado el 2 de febrero de 2024.

- [8] **International Computer Room Experts Association.** (2021). Norma internacional para la construcción e instalación de equipamiento de ambientes para el equipo de manejo de tecnologías de información y similares. (1.a ed.). México: International Computer Room Experts Association. p. 436. Consultado el 5 de noviembre de 2023.
- [9] **Vertiv.** (s.f.). Server Rack Sizes Matter: Get These 3 Critical Rack Server Dimensions Right. [En línea]. Disponible en: <https://www.vertiv.com/en-us/about/news-and-insights/articles/educational-articles/server-rack-sizes-matter-get-these-3-critical-rack-server-dimensions-right/>. Consultado el 14 de febrero de 2024.
- [10] **Casillas, Juan Carlos.** "Alta densidad y clasificación de la carga térmica en los centros de datos." DatacenterDynamics, 5 de enero de 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/es/opinion/alta-densidad-y-clasificaci%C3%B3n-de-la-carga-t%C3%A9rmica-en-los-centros-de-datos/>. Consultado el 9 de marzo de 2024.
- [11] **International Computer Room Experts Association.** (2021). Norma internacional para la construcción e instalación de equipamiento de ambientes para el equipo de manejo de tecnologías de información y similares. (1.a ed.). México: International Computer Room Experts Association. p. 161. Consultado el 10 de noviembre de 2023.
- [12] **Danfoos.** (s.f.) "Eficacia en el uso de la energía" [En línea] Disponible en: https://www.danfoss.com/en/markets/buildings-commercial/shared/data-centers/pue/?gclid=Cj0KCQiAsdKbBhDHARIsANJ6-jcrm8bBa5zTAwfZdURw1AaVdRRJNPxwljVckN6pwjG783uSjK7nTzAaAv2pEALw_wcB Consultado el 16 de marzo de 2024.
- [13] **Henshaw, K., & Jesús.** (2021, 24 de agosto). PUE, CUE y WUE: ¿Qué representan estas tres métricas y cuál es la más importante? [En línea]. Disponible en: <https://submer.com/blog/pue-cue-and-wue-what-do-these-three-metrics-represent-and-which-is-one-is-the-most-important/>. Consultado el 15 de mayo de 2024.

[14] **Gabriel Carrillo M-Feduchi**, "Métricas de eficiencia en los Data Centers (PUE, CUE, WUE)", Data Center Dynamics, 26 de octubre de 2022. [En línea] Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/m%C3%A9tricas-de-eficiencia-en-los-data-centers-pue-cue-wue/> Consultado el 27 de mayo de 2024.

[15] **TechTarget** (2024, 20 de febrero) Monitoreo, principio básico para la disponibilidad de un centro de datos [En línea] Disponible en: <https://www.computerweekly.com/es/opinion/Monitoreo-principio-basico-para-la-disponibilidad-de-un-centro-de-datos#:~:text=De%20acuerdo%20con%20estad%C3%ADsticas%20del,en%20los%20equipos%20de%20TI>. Consultado el 18 de julio de 2024.

[16] **Equipo de Pandora FMS**. "¿Qué es ENIAC?" Pandora FMS, 29 de febrero de 2024. [En línea] Disponible en: <https://pandorafms.com/blog/what-is-eniac/>. Consultado el 18 de julio de 2024.

[17] **Lefdal Mine Datacenter**. Cooling. [En línea] Disponible en: <https://www.lefdalmine.com/facility-2/cooling/>. Consultado el 23 de agosto de 2024.

[18] **Kote Puerto**, "Nuestro muro de Facebook está muy fresco: Zuckerberg nos enseña su futurista centro de datos cerca del Ártico", Xataka, 4 de octubre de 2016. [En línea] Disponible en: <https://www.xataka.com/empresas-y-economia/nuestro-muro-de-facebook-esta-muy-fresquito-zuckerberg-nos-ensena-su-futurista-centro-de-datos-cerca-del-artico> Consultado el 15 de septiembre de 2023.

[19] **INTARCON**. "Sistemas de refrigeración directos e indirectos." (s.f.) [En línea] Disponible en: <https://www.intarcon.com/sistemas-de-refrigeracion-directos-e-indirectos/>. Consultado el 23 de noviembre de 2023

[20] **Bizo, Daniel**. "Refrigeración líquida directa: la presión aumenta, pero persisten las limitaciones". Data Center Dynamics, 3 de agosto de 2022. [En línea] Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/es/opinion/refrigeraci%C3%B3n-l%C3%ADquida-directa-la-presi%C3%B3n-aumenta-pero-persisten-las-limitaciones/>. Consultado el 22 de noviembre de 2023.

- [21] **International Computer Room Experts Association.** (2021). Norma internacional para la construcción e instalación de equipamiento de ambientes para el equipo de manejo de tecnologías de información y similares. (1.a ed.). México: International Computer Room Experts Association. p. 150. Consultado el 10 de noviembre de 2023.
- [22] **Emerson Network Power.** (2011). Liebert HPC-M - The Data Center FreeCooling Chiller with the Lowest Impact on the Environment. [En línea] Disponible en: <http://www.epsiloningenieria.com.mx/pdf/LiebertHPC.pdf> Consultado el 18 de octubre de 2023.
- [23] **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).** (s.f.). ASHRAE en Español. [En línea] Disponible en: <https://www.ashrae.org/about/ashrae-en-espanol> Consultado el 15 de julio de 2024.
- [24] **Carrillo M-Feduchi, G.** (2019, noviembre 20). Eficiencia Energética: Reto de los Data Centers del Futuro. Data Center Dynamics, [En línea] Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/eficiencia-energ%C3%A9tica-reto-de-los-data-centers-del-futuro/>. Consultado el 10 de julio de 2024.
- [25] **JA SOLAR JAM672405** - Panel solar ja solar monocristalino de 405w con ts4 smart ready. (2024). [En línea] Disponible en: <https://tvc.mx/products/34504/ja-solar-jam672405-panel-solar-ja-solar-monocristalino-de>. Consultado el 10 de mayo de 2024.
- [26] **Moss, S.** (2022, 10 de junio). En busca del centro de datos más grande del mundo. Data Center Dynamics. [En línea] Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/en-busca-del-centro-de-datos-m%C3%A1s-grande-del-mundo/>. Consultado el 15 de julio de 2024.
- [27] **DatacenterDynamics.** (2017, 10 de julio). STULZ impulsa el Free Cooling en el centro de datos. [En línea] Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/es/noticias/stulz-impulsa-el-free-cooling-en-el-centro-de-datos/> Consultado el 15 de julio de 2024

Referencias generales

ANSI/TIA-942-B. (2017). Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. Pág. 3.

NMX-I-20000-1-NYCE. (2019). Tecnologías de la información – Gestión del servicio – Parte 1: Requisitos del sistema de gestión del servicio. Pág. 12.

UPTIME Institute (s.f.) Sistemas de clasificación TIER [En línea] Disponible en: <https://es.uptimeinstitute.com/tiers> . Consultado el 20 de julio de 2024.

Datos 101. (2020, 24 de septiembre). Qué es un Data Center con seguridad TIER 4 y qué nos aporta. [En línea] Disponible en: <https://www.datos101.com/blog/que-es-un-data-center-con-seguridad-tier-4-y-que-nos-aporta/>. Consultado el 19 de julio de 2024.

UPTIME Institute (s.f.) Acerca de Uptime Institute [En línea] Disponible en: <https://es.uptimeinstitute.com/about-ui> Consultado el 30 de julio de 2024.

International Computer Room Experts Association. (2021). Norma internacional para la construcción e instalación de equipamiento de ambientes para el equipo de manejo de tecnologías de información y similares. (1.a ed.). México: International Computer Room Experts Association. p. 447. Consultado el 23 de noviembre de 2023.

DCD. El data center, componente crítico de la continuidad de negocio.(20 de junio de 2017). [En línea] Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/el-data-center-componente-cr%C3%ADtico-de-la-continuidad-de-negocio/>. Consultado el 30 de noviembre de 2023.

Comisión Federal de Electricidad. "Esquema tarifario vigente." [En línea] Disponible en: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Industria.aspx>, consultado el 23 de septiembre de 2023.

Comisión Federal de Electricidad. "Esquema tarifario vigente para hogar" [En línea] Disponible en: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Casa.aspx> consultado el 23 de abril de 2024.