



## INFORME

**Asesoría - Diagnóstico y recomendaciones cualitativas**

**del comportamiento térmico**

**del Edificio de Ingenierías y Construcción**

**del Instituto Federal de Telecomunicaciones**

**Av. De Las Telecomunicaciones S/N Colonia Leyes De Reforma,**

**Delegación Iztapalapa**

Informe que presenta el Grupo de Energía en Edificaciones (GEE) del Instituto de Energías Renovables (IER) para el Instituto Federal de Comunicaciones (IFT), de acuerdo a lo convenido el 12 de marzo de 2024 con el Ing. Roberto Benjamín Pacheco Álvarez, Director de Recursos Materiales y Servicios Generales.

GEE-IER

Dra. Guadalupe Huelsz Lesbros

Dr. Jorge Rojas Menéndez

Dr. Guillermo Barrios del Valle

Asesoría de vegetación

Dr. José Antonio Sierra Huelsz

Posdoctorante CONAHCYT

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Universidad de Guadalajara

Diagnóstico y recomendaciones cualitativas del comportamiento térmico  
Edificio de Ingenierías y Construcción del Instituto Federal de Telecomunicaciones

6 de mayo de 2024

## Localización y orientación del edificio

La latitud y longitud de la ubicación del edificio son 19°22'01"N y 99°03'40"W, respectivamente, se encuentra a una altitud de 2,247 msnm. La fachada principal de entrada al edificio tiene una orientación E con 5.5° al S, la fachada de las oficinas sur S con 5.5° al O, la fachada de oficinas norte N con 5.5° al E y la fachada posterior O con 5.5° al N (Figura L1).



Figura L1. Orientación del Edificio. La fachada de oficinas norte tiene una orientación N con 5.5° al E.

En el valle de la Ciudad de México existen seis diferentes patrones de flujo de viento, con distintas frecuencias de acuerdo con la hora y con el mes<sup>1</sup>, ninguno de los patrones muestra una frecuencia dominante en la época de calor. En la zona de Iztapalapa, el viento puede provenir de cualquier dirección. Adicionalmente, el edificio está rodeado de otros edificios y por bardas que alteran la dirección del viento de manera local (Figura L2).

<sup>1</sup> Salcido A, Castro T (2022) Influence of meteorological patterns on the 2020 COVID-19 pandemic in the Mexico City region. Environmental Advances 7, 100157. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100157>

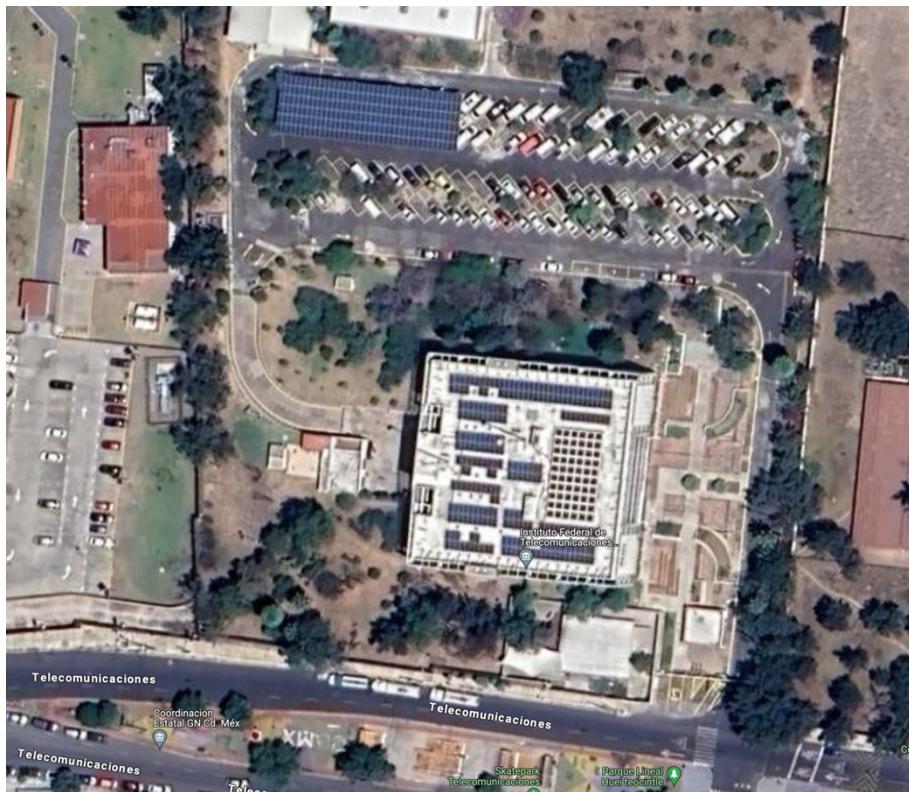


Figura L2. Edificio con edificios y bardas cercanos.

## Diagnóstico del comportamiento térmico del edificio

Para poner en contexto al diagnóstico, primero se presenta el objetivo de la adecuación hecha al edificio en el año 2016.

### Adecuación del edificio en 2016

El objetivo de la adecuación que se realizó en 2016 fue lograr el confort térmico en el edificio de manera pasiva. En dicha adecuación se propusieron dos estrategias principales: protección solar y ventilación natural.

Para la parte de protección solar se instalaron partesoles verticales y una malla metálica como una segunda piel en todas las fachadas (Figura D1). En el techo del atrio se instalaron vidrios fotovoltaicos con la intención de controlar las ganancias térmicas por radiación solar (Figura D2). Para la ventilación natural se acondicionó la infraestructura existente de los ductos de climatización y se acondicionaron dos chimeneas de ventilación. A cada chimenea se le colocaron extractores eólicos en la parte superior y ventanas en cada piso (Figura D3). También se incorporaron dos invernaderos, uno en la fachada norte y otro en la sur con la intención de calentar en invierno y enfriar en verano (Figura D4).

Diagnóstico y recomendaciones cualitativas del comportamiento térmico  
Edificio de Ingenierías y Construcción del Instituto Federal de Telecomunicaciones

6 de mayo de 2024

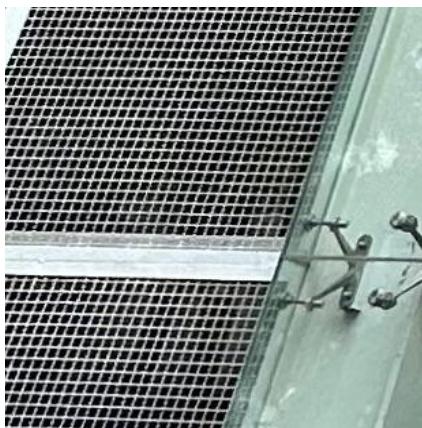


Figura D1. Detalle de la malla metálica como segunda piel.

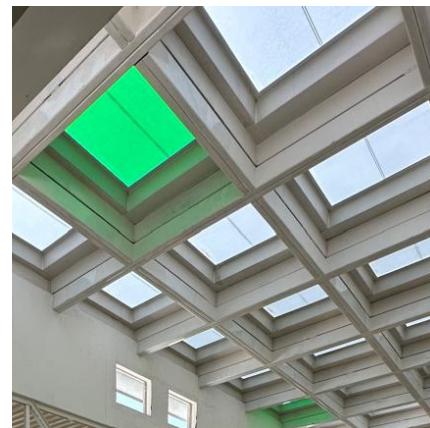


Figura D2. Vidrios fotovoltaicos en el techo del atrio.

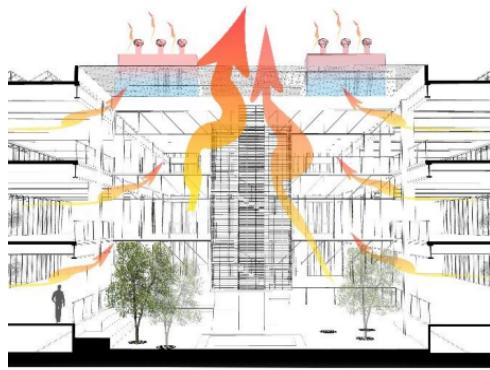


Figura D3. Esquema de las torres de ventilación.

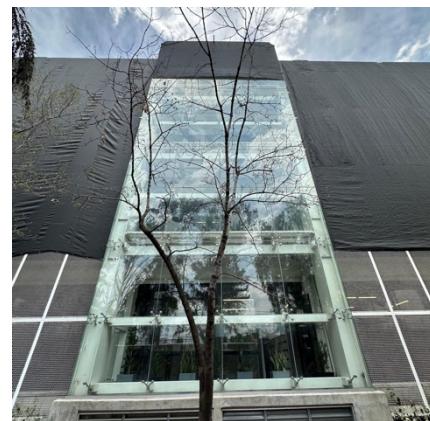


Figura D4. Invernadero en fachada sur

El diagnóstico del edificio está basado en las observaciones y en las mediciones que se llevaron a cabo durante la visita del personal del IER al edificio el día 4 de abril de 2024. Posteriormente se analizan los datos de la bitácora que lleva personal del IFT, esta bitácora contiene datos de temperaturas registradas el día 1 de abril de 2024, el día más cálido de lo que va del 2024 hasta el 4 de abril. Cabe señalar, que el día de la visita fue un día semi nublado.

El diagnóstico derivado de la visita se presenta dividido en las siguientes partes: parapoles verticales, malla metálica y techo fotovoltaico; chimeneas, atrio, oficinas y archivo; invernaderos; ventilación por escalera oeste, concentración de CO<sub>2</sub>, velocidad del aire y humedad relativa del aire.

## Parasoles verticales, malla metálica y techo del atrio

El diseño actual de las protecciones solares y de la malla metálica no cumplen con su objetivo ya que permiten el ingreso de radiación solar directa (Figura D5). Esto no es deseable en edificaciones con alta carga térmica por personas y equipos, ni en edificios donde se realicen labores de oficina por el deslumbramiento que la radiación solar directa puede ocasionar. Los invernaderos no cuentan con protecciones solares, por lo que también hay ingreso de radiación solar directa a las oficinas a través de estos espacios, sobre todo en el invernadero sur (Figura D6). El techo del atrio también permite el ingreso de radiación solar directa al espacio central y pasillos (Figura D7). Los árboles son elementos que protegen al edificio del ingreso de radiación solar directa, se observa existencia de varios árboles frente a la fachada norte, pocos árboles y más pequeños frente a la fachada sur y ninguno cercano en las fachadas este y oeste, siendo las fachadas sur, este y oeste las que requieren mayor protección solar (Figura D8).



Figura D5. Entrada de radiación directa en fachada sur.



Figura D6. Invernadero en fachada sur.

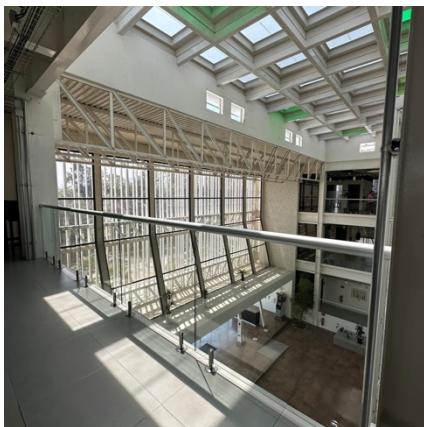


Figura D7. Radiación directa por techo fotovoltaico.

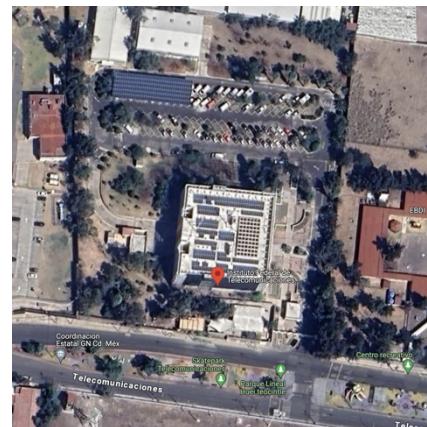


Figura D8. Protección solar por árboles en fachadas.

En la Figura D9 se presentan la temperatura medida de uno de los vidrios verde y de uno de los blancos del techo fotovoltaico y de un vidrio de la fachada este y como referencia la temperatura del aire al exterior medida en la explanada de entrada al edificio. Se observa que la temperatura de los vidrios del techo fotovoltaico es mayor en más de 20°C a la del vidrio de la fachada este y en más de 30°C mayor que la temperatura del aire exterior. El vidrio verde es mayor en 9°C a la del vidrio blanco. Eso se debe a la alta radiación solar incidente en el techo. El vidrio verde tiene mayor temperatura que el blanco ya que absorbe mayor radiación solar. Estas altas temperaturas de los vidrios fotovoltaicos del techo del atrio producen una alta radiación en infrarrojo que aumenta el desconfort térmico en el atrio y en los pasillos cercanos.

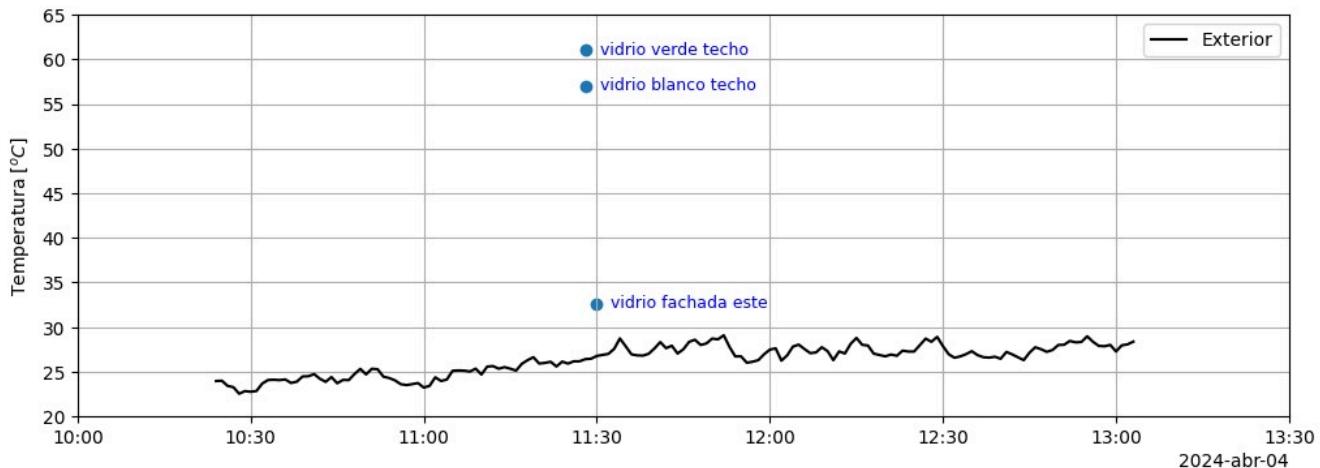


Figura D9. Temperatura superficial de un vidrio verde y uno, blanco del techo fotovoltaico y de un vidrio de la fachada este del atrio. Como referencia, la temperatura del aire al exterior (línea negra).

## Chimeneas, atrio, oficinas y archivo

En 2016 se implementaron dos chimeneas (Figura D10) que se diseñaron con la intención de extraer aire caliente del interior de las oficinas cercanas por efecto de flotación térmica complementado con extractores eólicos en la parte superior y así propiciar la ventilación natural al interior del edificio (Figura D11). Cada chimenea contiene tres ventosas por piso en su cara este (Figura D12). Durante la visita se observó que algunos de los extractores eólicos no funcionaban cuando otros cercanos si lo hacían. Al realizar mediciones de temperatura del aire al interior de las chimeneas, encontramos que la temperatura del aire al interior de ambas era menor que la temperatura del aire en las oficinas cercanas (Figura D13). Esto indica que las chimeneas no están funcionando como se pensó, principalmente por el poco flujo de aire que se puede producir a través de ellas. También se observó que la temperatura del aire al interior de la chimenea sur a nivel de azotea es mayor a la del aire al exterior a nivel de planta baja en la explanada de entrada, esto se explica por la alta radiación solar incidente en el techo y muros de la chimenea a nivel de azotea.

En la Figura D13 se observa que la temperatura del aire en el atrio, las oficinas y los archivos de la planta baja (PB) durante la visita se encontraban entre 23°C y 26°C y, como era de esperarse, la temperatura del aire aumenta conforme aumenta el nivel.

En la Figura D13 también se grafican la temperatura del aire registrada en la explanada y la reportada en la estación meteorológica automática (EMA) Tezontle, ubicada en Iztacalco, a 4.5 km del edificio del IFT. Se observa que la temperatura del aire en la explanada es más alta que la registrada en la EMA, esto se debe a que la explanada recibe radiación solar directa durante la mañana y dado que hay poca vegetación cercana (sólo dos pequeños árboles) la superficie del suelo debe aumentar su temperatura calentando el aire de la explanada. Cabe señalar que el sensor de temperatura se mantuvo a la sombra, por lo que no recibió radiación solar directa y está protegido de la radiación infrarroja del suelo. La temperatura del aire registrada por la EMA (no está afectada por radiación solar directa, ni por radiación de superficies cercanas), la máxima diferencia entre estas dos temperaturas es de 4°C, esto indica la importancia de proteger la explanada de la radiación solar directa.

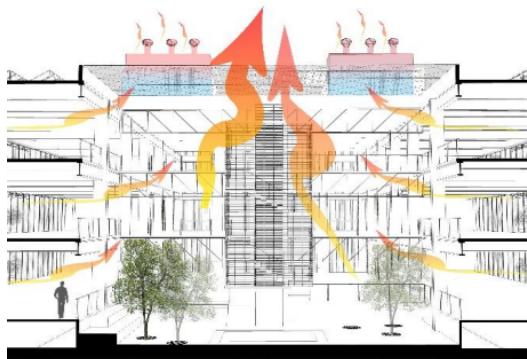


Figura D10. Esquema de funcionamiento de las chimeneas<sup>2</sup>.



Figura D11. Extractor eólico en chimenea.

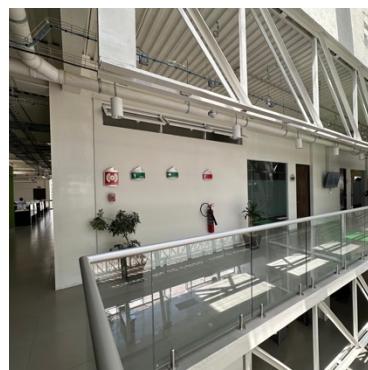


Figura D12. Ventilas de la chimenea sur.

<sup>2</sup> De acuerdo al contratista de 2016.

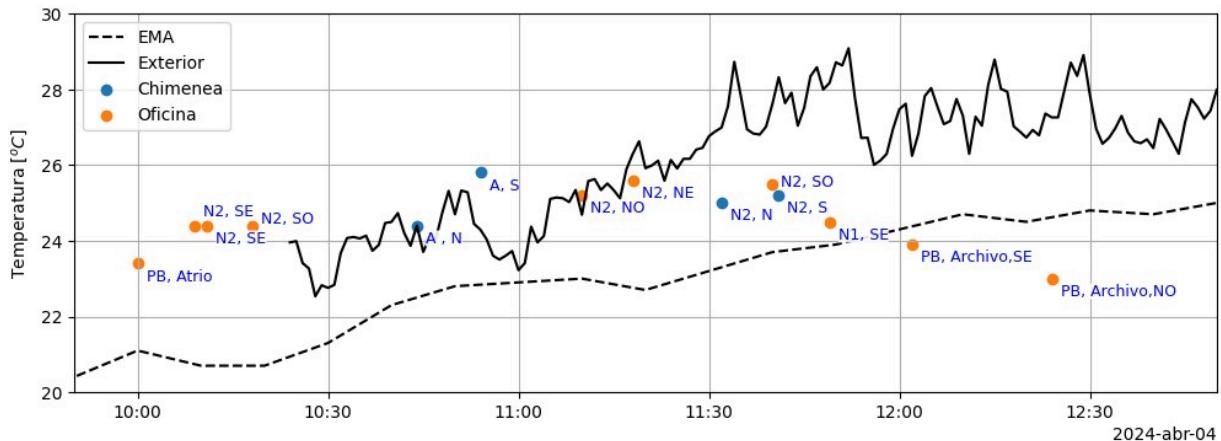


Figura D13. Temperatura del aire al interior de las chimeneas (puntos azules) y al interior de las oficinas (puntos naranjas). En las chimeneas en la azotea (A), ubicación norte (N) y sur (S), y en las oficinas nivel 1 (N1) y nivel 2 (N2), ubicación noroeste (NO), noreste (NE), sureste (SE) y suroeste (SO). Como referencia, la temperatura del aire registrada por la EMA (línea negra discontinua) y temperatura del aire al exterior medida en la explanada de entrada (línea negra continua).

## Invernaderos

Los invernaderos están ubicados uno en la fachada norte y otro en la sur, cuentan en la base con ventilas hacia el exterior (Figura D14), con extractores eólicos y ventilas en la parte superior (Figura D15). En cada nivel, el invernadero está conectado al edificio mediante una puerta y algunas ventanas. Durante el año, el invernadero sur tiene mayor tiempo de exposición a la radiación solar directa que el invernadero norte. Además, como ya se mencionó, en la fachada norte existen más árboles que sirven como protección solar.



Figura D14. Invernadero en fachada sur.



Figura D15. Extractor eólico y ventilas en invernadero.

La temperatura del aire al interior del invernadero norte en los niveles PB, 1 y 2 es menor que la temperatura del aire al exterior. Esta observación llevó al personal del IFT a colocar, en la

Diagnóstico y recomendaciones cualitativas del comportamiento térmico  
Edificio de Ingenierías y Construcción del Instituto Federal de Telecomunicaciones

6 de mayo de 2024

temporada cálida, un ventilador en la parte inferior para aumentar el flujo de ventilación con ventilación forzada. Así estaba funcionando durante la visita del personal del IER. Durante la visita, se observó que la temperatura del aire en los invernaderos es menor a la temperatura del aire al exterior, excepto en el nivel de la azotea (Figura D16). También en los invernaderos, se observó que algunos de los extractores eólicos no funcionaban cuando otros cercanos si lo hacían. Si los invernaderos norte y sur se usan adecuadamente ofrecen un potencial de enfriamiento y calentamiento, respectivamente. Sin embargo, este potencial es pequeño ya que el flujo de aire que puede ingresar a través de ellos en los tres niveles es reducido.

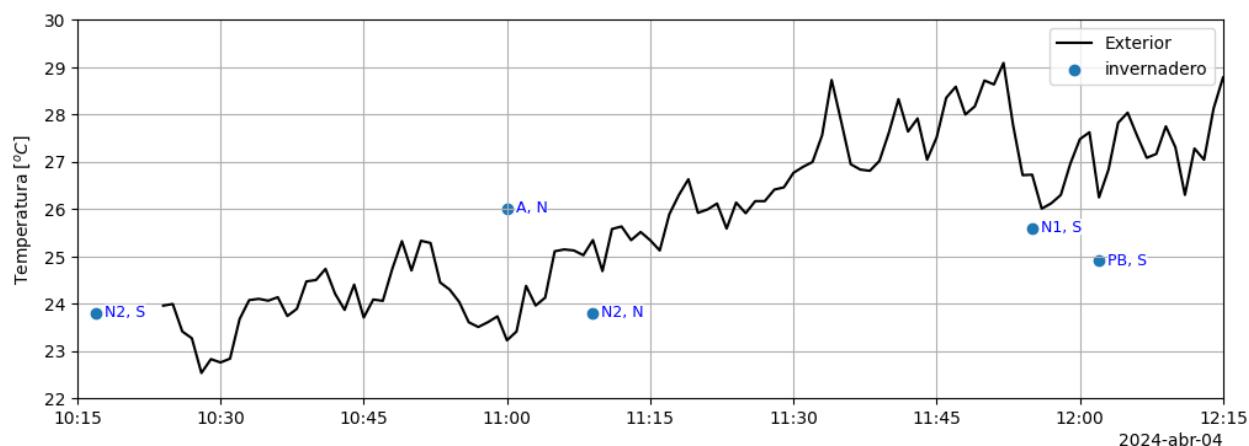


Figura D16. Temperatura del aire al interior de los invernaderos. Por niveles 1, 2 y azotea (N1,N2 y A) y por ubicación norte (N) y sur (S). Como referencia, la temperatura del aire al exterior (línea negra).

## Ventilación escalera oeste

La escalera oeste va del sótano al nivel de azotea. A nivel del sótano está comunicada al exterior a través de un pasillo con una puerta, a nivel de azotea se comunica directamente al exterior a través de una puerta. En el momento de la medición, la temperatura superficial del muro de la escalera a nivel de sótano fue 5°C menor que la del aire en dicho lugar y más de 9°C menor que la temperatura del aire medida en la explanada de entrada al edificio por el este (Figura D17). Esto indica un potencial de enfriamiento para el aire que entra al edificio por la escalera oeste y que puede ser utilizado para enfriar espacios en los niveles superiores, ya que el flujo de aire en la escalera es significativo.

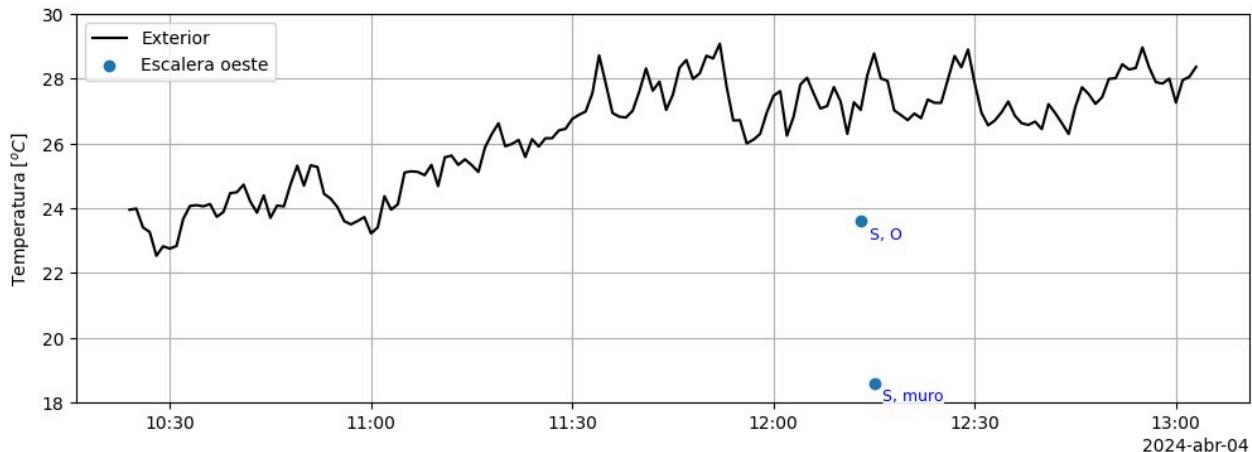


Figura D17. Temperatura del aire en la escalera oeste el nivel del sótano (S,O) y temperatura superficial del muro en el sótano (S, muro). Como referencia, temperatura del aire al exterior (línea negra).

## Concentración de CO<sub>2</sub>

Se midió la concentración de CO<sub>2</sub> en diferentes espacios durante el recorrido en planta baja, nivel 1 y 2 (PB, N1 y N2, respectivamente) (Figura D18). El dispositivo usado para medir el CO<sub>2</sub> tiene una precisión de  $\pm 50$  ppm. El CO<sub>2</sub> es expulsado durante la respiración, durante la pandemia COVID-19 se recomendó que se tomen medidas de ventilación de espacios para disminuir el riesgo por contagio de enfermedades transmitidas por aerosoles al llegar a los 600 ppm de CO<sub>2</sub> y se evacuen los espacios al llegar a 700 ppm de CO<sub>2</sub>. La medición más alta de concentración de CO<sub>2</sub> se dio en el nivel 2 en la oficina sureste (670 ppm), que es donde se encontraba el mayor número de personas trabajando. En la mayoría de las oficinas la concentración fue mayor a los 500 ppm, mientras que al exterior la concentración de CO<sub>2</sub> es aproximadamente 415 ppm. Por lo que la concentración de CO<sub>2</sub> al interior, aunque solo en un lugar fue mayor a 600 ppm, indica una mala ventilación en el edificio. En general, todo el edificio se verá beneficiado al incrementar significativamente la ventilación natural.

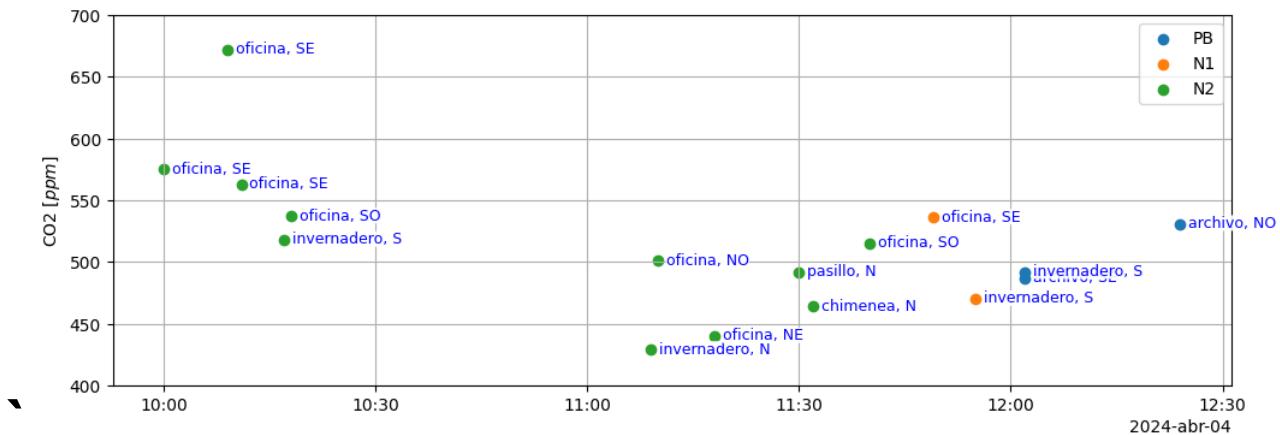


Figura D18. Mediciones de concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) medido en partes por millón (ppm) en diferentes espacios de planta baja (PB), nivel 1 y 2 (N1 y N2).

## Velocidad del aire

Se midió la magnitud y la dirección de la velocidad del aire en la explanada de entrada al edificio a una altura de 1.20 m sobre el piso. En la Figura D19 se presenta la magnitud de la velocidad del aire como función del tiempo, se observa que la magnitud de la velocidad del aire es muy fluctuante, con rachas hasta de 4.1 m/s.

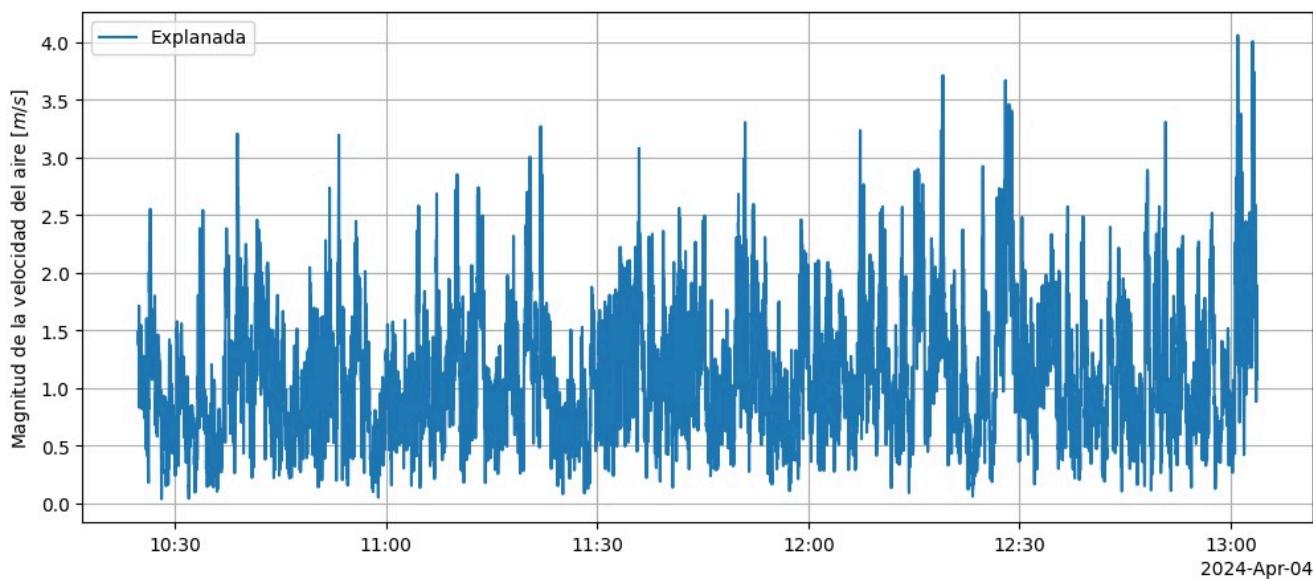


Figura D19. Magnitud de la velocidad del aire como función del tiempo, registrada en la explanada de entrada al edificio durante la visita.

La densidad de probabilidad de la magnitud de la velocidad del aire en intervalos de 0.5 m/s se presenta en la Figura D20, se observa que la mayor parte de los datos se encuentra en el rango de 0.5 a 1.5 m/s, dada la altura a la que se midió (1.20 m) se puede considerar que la velocidad es alta.

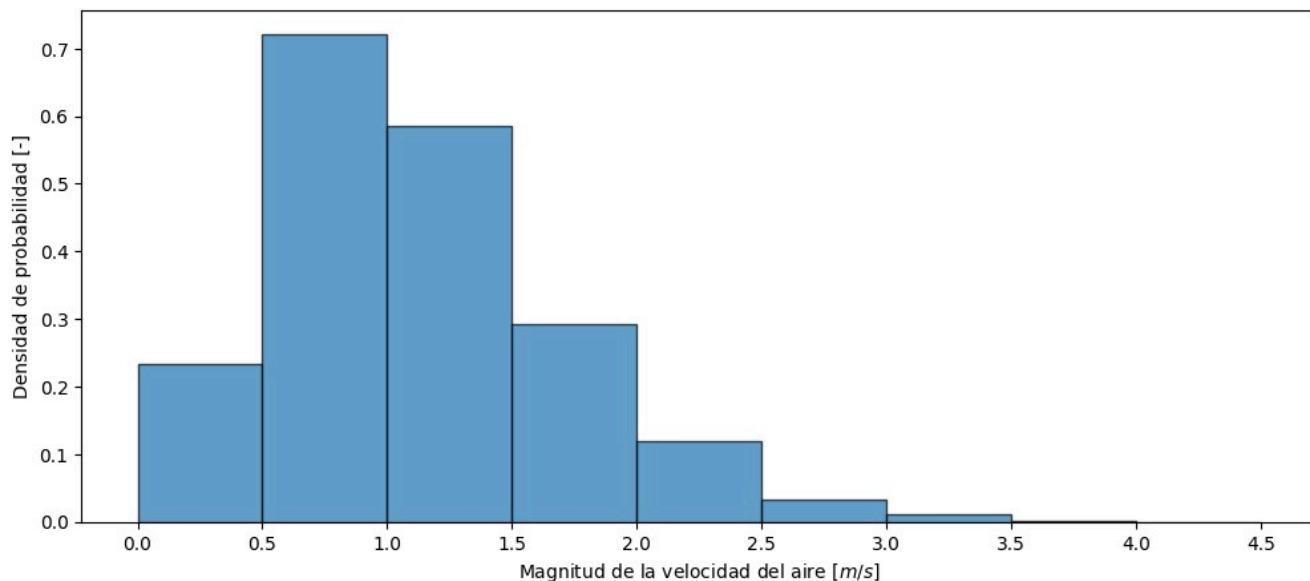


Figura D20. Densidad de probabilidad de la magnitud de la velocidad del aire en intervalos de 0.5 m/s, registrada en la explanada de entrada al edificio durante la visita.

En la Figura D21 se muestra el porcentaje de tiempo en 16 direcciones de la dirección de la velocidad del aire registrada en la explanada de entrada al edificio durante la visita, en ella se observa un patrón típico presente en la cauda de un flujo atrás de un obstáculo. Esto implica que durante este periodo la dirección dominante del viento fue desde el oeste, esto se ratifica con los datos de dirección de viento registrados para este periodo de tiempo en la estación meteorológica automática (EMA) Tezontle, ubicada en Iztacalco, a 4.5 km del edificio del IFT.

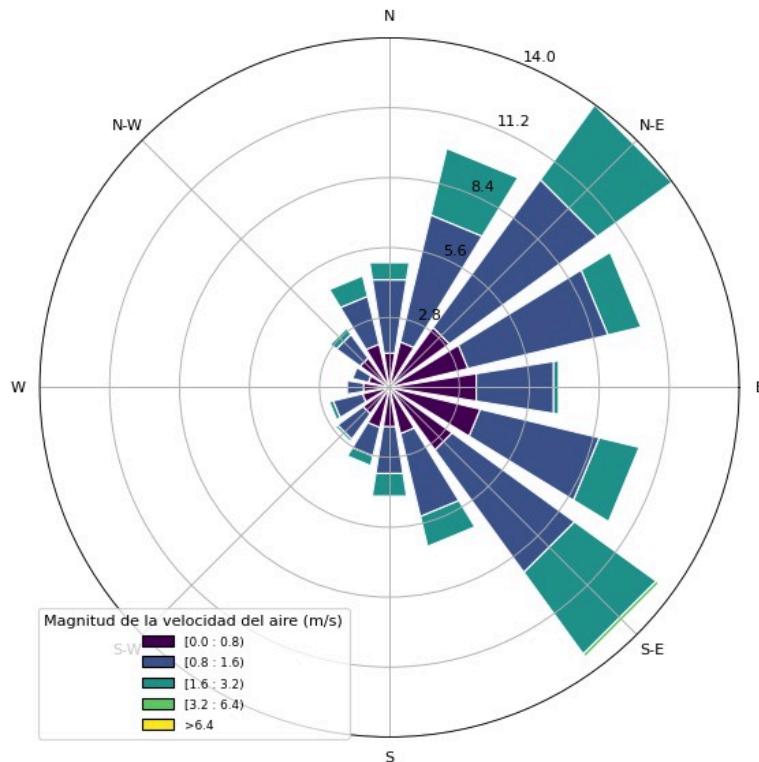


Figura D21. Porcentaje de tiempo en 16 direcciones de la dirección de la velocidad del aire registrada en la explanada de entrada al edificio durante la visita.

También se midió la velocidad del aire en algunos puntos al interior del edificio, en todos ellos dieron menor a 0.1 m/s (resolución del anemómetro).

## Humedad relativa del aire

La humedad relativa del aire al interior del edificio durante la visita se encontró en el intervalo entre 32 y 38%. Al exterior en la zona de la explanada de entrada al edificio, dada la mayor temperatura del aire, la humedad relativa era menor, entre 20 y 33%. Estos bajos valores de humedad relativa en la época de calor seco (febrero a mayo), indican que el enfriamiento evaporativo es una buena estrategia para el edificio en dicha época.

## Análisis de las temperaturas registradas el día 1 de abril de 2024

A continuación, se analiza la temperatura del aire en los distintos espacios registrada en la bitácora del IFT. En la Figura D22 se presentan cuatro gráficas de temperatura del aire como función del tiempo. Corresponden a las áreas ubicadas en las cuatro orientaciones: noreste (NE), noroeste (NO), sureste (SE) y suroeste (SO); en cada gráfica se incluyen la temperatura

en los tres niveles, planta baja (PB), nivel 1 (N1) y nivel 2 (N2). Como referencia se graficaron la temperatura del aire registrada en la EMA Tezontle, la medida al exterior en la explanada de entrada al edificio y la del atrio.

En las gráficas se observa que la temperatura del aire en todos los espacios del edificio se encuentra entre 19.0°C y 25.0°C hasta las 16:00 horas y solo los espacios NE y SO del N2 superan este valor, la máxima temperatura del aire es en el espacio NE que alcanza los 26.0°C a las 17:00 horas. En todas las orientaciones, en general la mayor temperatura la presenta el N2, seguida del N1 y la menor corresponde a la PB. Esto es un resultado esperado por dos efectos, el principal es la radiación solar directa incidente en el techo, la parte que es absorbida se trasmite como energía térmica a través de la loza del techo. Adicionalmente, el aire caliente de niveles inferiores tiende a subir, calentando el nivel N1 y N2. La disminución de todas las temperaturas a las 10:00 con respecto a las de las 9:00 y de las 12:00 con respecto a las de las 11:00, no guarda relación con el aumento de la temperatura exterior, en dichas horas. Desconocemos que pudo haber pasado o si hay errores en las mediciones.

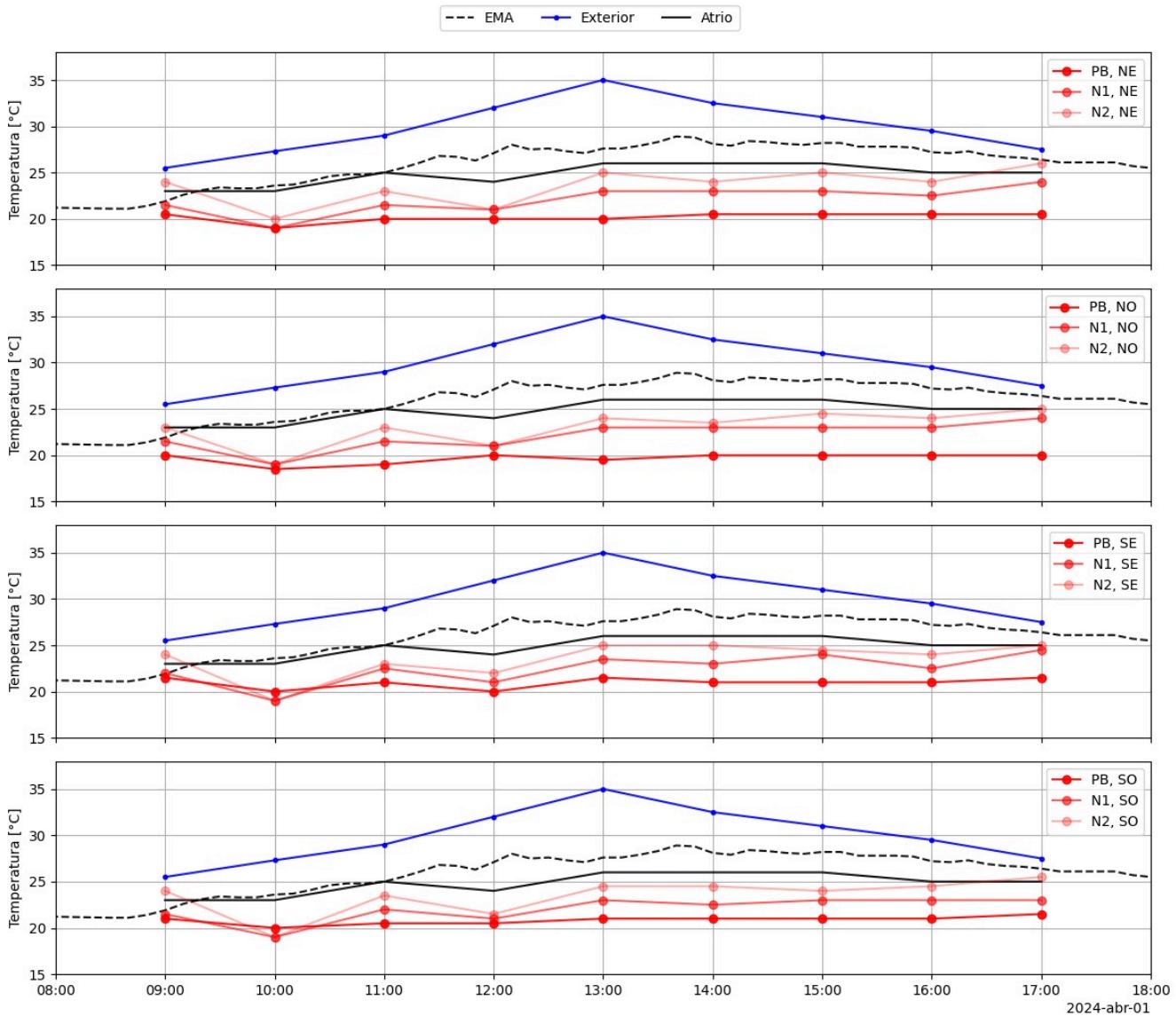


Figura D22. Temperatura del aire como función del tiempo. Corresponden de arriba hacia abajo a las áreas ubicadas en las cuatro orientaciones: noreste (NE), noroeste (NO), sureste (SE) y suroeste (SO). En cada gráfica se incluyen la temperatura en los tres niveles, planta baja (PB), nivel 1 (N1) y nivel 2 (N2). Como referencia, temperatura del aire al exterior registrada en la bitácora, en la estación meteorológica automática (EMA) y en el atrio.

La temperatura del aire al exterior registrada en la bitácora es significativamente mayor a la de los espacios interiores, alcanzando los 35°C a las 13:00 horas. El que la temperatura alcance el máximo a esta hora y el valor mismo, pueden ser debidas a dos factores. El primero es que la medición, al igual que durante la visita se tomó en la explanada de entrada al edificio que se encuentra al este. Esta zona recibió radiación solar directa durante la mañana hasta las 12:40 horas (medio día solar) y dado que hay poca vegetación cercana (sólo dos pequeños árboles) la superficie del suelo debe aumentar su temperatura calentando el aire de la explanada.

Diagnóstico y recomendaciones cualitativas del comportamiento térmico  
Edificio de Ingenierías y Construcción del Instituto Federal de Telecomunicaciones

6 de mayo de 2024

También puede deberse a que el termómetro utilizado no tiene protección para la radiación, pudiendo recibir radiación solar directa y radiación en infrarrojo del suelo de la explanada, lo que afecta la medición de temperatura del aire. Recomendamos cambiar de termómetro. Es por esto que se decidió buscar información de la temperatura del aire en la EMA más cercana. La temperatura del aire registrada por la EMA (no está afectada por radiación solar directa, ni por radiación de superficies cercanas) muestra que las máximas temperaturas (hasta 28.9°C) se alcanzan entre las 14:00 y las 15:00 horas que es lo esperado, además presenta valores menores. A las 17:00, la temperatura del aire medida en el IFT y la de la EMA presentan menor diferencia.

Cabe resaltar que, en un mismo nivel, no se encuentra una diferencia importante entre la temperatura del aire de los espacios sur y la de los espacios norte. Esto se ve más claro en la Figura D23, donde se grafica la temperatura de los distintos espacios en el nivel 2. En esta gráfica se ve que en algunos momentos la temperatura en los espacios norte es igual o incluso mayor que en los espacios sur. La sensación de mayor desconfort térmico en las oficinas sur puede deberse entonces principalmente a la radiación solar directa incidente.

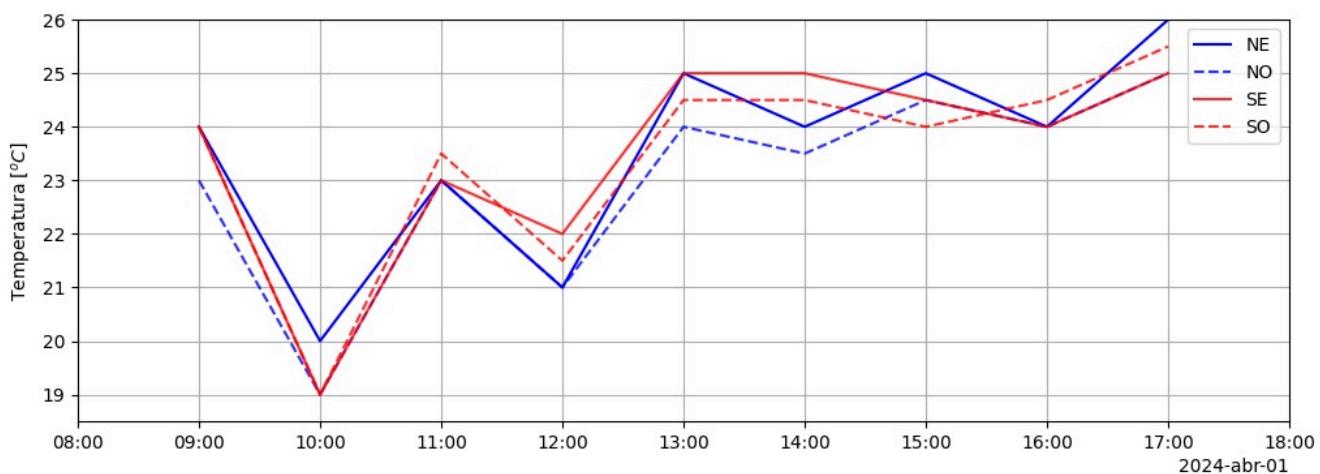


Figura D23. Temperatura del aire como función del tiempo en el nivel 2 (N2) en los espacios de acuerdo a las cuatro orientaciones: noreste (NE), noroeste (NO), sureste (SE) y suroeste (SO).

Al comparar las temperaturas registradas el día 1 de abril en los distintos espacios (Figura D13), con las medidas durante la visita el día 4 de abril, se observa que también las mayores temperaturas durante la visita se registran en el N2, durante la visita se encuentran entre 24.0°C y 26.0°C, ligeramente mayores a las registradas en el mismo horario en la bitácora del IFT de 1 de abril.

En la Figura D24 se presenta la temperatura del aire al interior de los invernaderos norte (N) y sur (S) como función del tiempo, en los tres niveles, PB, N1 y N2. En general, como era de esperarse la temperatura en el invernadero sur es mayor que la del norte y N2 presenta mayor temperatura que N1, y N1 mayor que PB. La diferencia entre la temperatura del invernadero norte y la del sur en el N2 alcanza los 4°C a las 14:00 horas. A partir de las 13:00 horas, la temperatura en el invernadero sur alcanza la temperatura del aire en la EMA, la del invernadero

norte es menor que la de la EMA, a las 13:00 horas la temperatura del aire en el invernadero norte en el N2 es menor en 2.6°C que la temperatura del aire en la EMA, indicando un potencial de enfriamiento, aunque reducido dado el poco flujo de aire que permite.

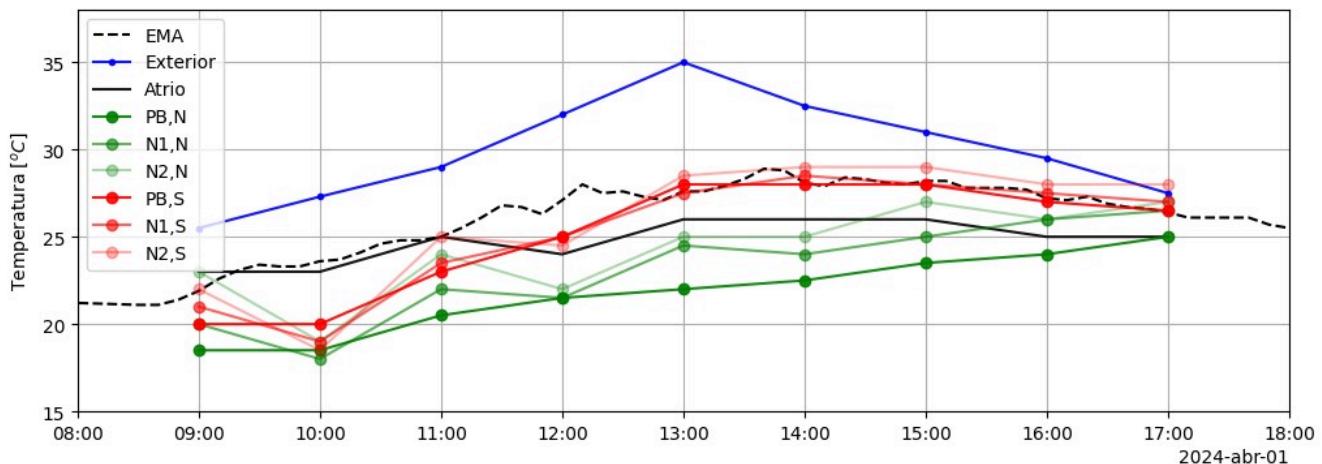


Figura D24. Temperatura del aire al interior de los invernaderos norte (N) y sur (S) como función del tiempo, en los tres niveles, PB, N1 y N2. Como referencia, temperatura del aire al exterior registrada en la bitácora, en la estación meteorológica automática (EMA) y en el atrio.

No se consideraron en el análisis los valores de la temperatura registrada como de domo en la bitácora, ya que comparada con la temperatura superficial de los vidrios fotovoltaicos del atrio medidas en la visita, son mucho menores. Es posible que el termómetro que registra dicha temperatura no tiene un buen contacto térmico con el vidrio.

## Conclusiones del diagnóstico

Los elementos de protección solar implementados en la adecuación de 2016 son poco eficaces y los elementos para propiciar la ventilación natural, los invernaderos y las chimeneas, presentan un flujo de aire muy reducido por lo que su contribución a la ventilación de todos los espacios del edificio es prácticamente nula.

## Recomendaciones para mejorar el desempeño térmico del edificio y el confort térmico de los ocupantes

Las recomendaciones para mejorar el desempeño térmico y el confort térmico de los ocupantes del edificio están basadas en el análisis cualitativo del diagnóstico realizado. Se inicia con una sugerencia para los usuarios y posteriormente se presentan las recomendaciones por componente constructivo o espacios del edificio que se sugiere modificar o cambiar su modo

de empleo y en orden de simplicidad. Se indica si la modificación es un **elemento de protección solar** que reduce el ingreso de radiación solar directa a la zona, **de ventilación natural** que favorece el flujo de aire entre el exterior y el interior del edificio sobre todo en las áreas de oficinas, lo que puede incluir el **enfriamiento por ventilación nocturna**, o un **elemento de enfriamiento evaporativo** que contribuye a la reducción de la temperatura del aire cuando existe agua líquida que se pueda evaporar.

## Vestimenta de los usuarios

Se tiene entendido que no existe código de vestimenta para los empleados del IFT usuarios del edificio. De no existir código de vestimenta, se recomienda hacerlos conscientes de que la vestimenta adecuada, de acuerdo a la época del año y a sus preferencias térmicas es un componente importante para aumentar el confort térmico al interior de edificaciones. De existir código de vestimenta, se recomienda adecuarlo a la época del año y ser flexibles, dadas las preferencias personales.

## Recomendaciones por componentes constructivos o espacios

### Zonas de crecimiento de enredaderas en la segunda piel del edificio

Se recomienda no sembrar enredaderas en estas zonas. Si las enredaderas crecieran poco, como ha sido hasta ahora la experiencia, no sirven como elementos de protección solar y si crecieran abundantemente si funcionarían como elementos de protección solar, pero también reducirían considerablemente la iluminación natural al interior del edificio. Solo las ventanas sur requieren protección solar, por lo que posteriormente se propone un elemento de protección solar para las mismas.

### Puerta de la escalera oeste en el nivel azotea

Modo de empleo: mantenerla cerrada todo el tiempo para propiciar que el aire que entra por las escaleras desde el nivel del sótano ingrese a los niveles 1 y 2, esto como **elemento de ventilación natural**.

### Puerta de la escalera oeste en el nivel sótano

Modo de empleo:

Época cálida: mantenerla abierta de día (y si es posible también en la noche, para **enfriamiento por ventilación nocturna**) para propiciar que el aire que entre desde el nivel del sótano ingrese a los niveles 1 y 2, esto como **elemento de ventilación natural y de enfriamiento por ventilación nocturna**.

Época fría: mantenerla abierta de día y cerrada en la noche, para propiciar que a la hora de ocupación el aire que entre desde el nivel del sótano ingrese a los niveles 1 y 2, esto como **elemento de ventilación natural**.

## Aperturas en el atrio

Modificación:

Desde la reunión inicial, se sugirió retirar las rejillas de las ventanas en la parte superior del atrio para aumentar el flujo de ventilación en el atrio, esto como **elemento de ventilación**.

Modo de empleo:

Época cálida:

En el día y en la noche (**enfriamiento por ventilación nocturna**). Abrir todas las ventanas y la puerta de la entrada al atrio.

Época fría:

En el día, abrir ventanas que por su altura estén accesibles sin utilizar escalera cuando la temperatura del aire al exterior sea mayor que la temperatura del aire al interior, de lo contrario, cerrar ventanas y puerta.

En la noche, cerrar ventanas y puerta.

## Invernadero sur

Modificación:

Poner plantas en macetas con mucho follaje en la época de calor y menor en la época fría como **elementos de protección solar** para reducir la entrada de radiación solar directa y radiación infrarroja a las oficinas suroeste y **como elemento de enfriamiento evaporativo**, por la evotranspiración de las plantas.

Algunas plantas recomendadas son: *Bursera spp.*, (copales, cuajotes, palos mulatos), *Caesalpinia pulcherrima* (flore de camarón), *Caesalpinia mollis*, y *Senna multiglandulosa* (retama).

Se recomienda quitar extractores eólicos que no funcionan correctamente y demandan mucho mantenimiento.

Modo de empleo:

Época cálida:

No abrir puertas y ventanas en niveles 1 y 2. En el nivel PB la apertura será elección del personal del archivo. Abrir ventanas a nivel azotea.

Época fría:

Regar poco las plantas. Abrir puertas y ventanas en los niveles 1 y 2. En el nivel PB la apertura será elección del personal del archivo. Cerrar ventanas a nivel azotea.

## Invernadero norte

Modificación:

Poner muchas plantas con alta evapotranspiración (que soporten riego variable) como **elemento de enfriamiento evaporativo** para reducir la temperatura del aire por evapotranspiración de las plantas. Una planta recomendada es el árbol *Psidium sartorianum* (arrayán, guayabillo).

Se recomienda quitar extractores eólicos que no funcionan correctamente y demandan mucho mantenimiento y no utilizar el ventilador que se encontraba operando en la Planta baja el día de la visita.

Modo de empleo:

Época cálida:

Regar mucho las plantas.

Todo el día y noche, abrir puertas y ventanas en los niveles 1 y 2. En el nivel PB la apertura será elección del personal del archivo.

Época fría:

Regar poco las plantas.

En los niveles 1 y 2. En el día, cuando la temperatura del aire exterior sea mayor a la temperatura del aire al interior abrir ventanas, de lo contrario cerrar puertas y ventanas. En la noche, cerrar puertas y ventanas. En el nivel PB la apertura será elección del personal del archivo.

## Chimeneas

Modificación:

Pintar de negro los muros exteriores a nivel azotea de las chimeneas solares sur y norte. Esto aumentará el efecto succión de las chimeneas.

Modo de empleo:

Dejar las ventilas de las chimeneas (que dan al atrio) abiertas. Esto con excepción de las ventilas de la chimenea sur en el nivel 2 que deberán permanecer siempre cerradas, en el caso de que se realice la modificación propuesta para la oficina grande central. En este caso, si se mantuvieran abiertas las ventilas que dan al atrio, se restaría eficacia a la modificación propuesta para la oficina grande central.

## Zona de vegetación en la explanada cercana al acceso principal del edificio (fachada este)

Modificación:

Poner muchas plantas con alta evapotranspiración (que soporten riego variable) como **elementos de enfriamiento evaporativo** para reducir la temperatura del aire por evapotranspiración de las plantas. Algunas de las plantas que se sugieren son los siguientes, árboles medianos: *Ehretia tinifolia* (pingüica) y *Pinus cembroides* (pino piñonero); árboles mediano/chico: *Alnus spp.* (aile) y *Prunus serótina subs. capuli* (capulín); árboles chicos: *Tecoma stans* (tronadora), *Senna multiglandulosa* (retama) y *Cascabela thevetioides* syn. *Thevetia thevetioides* (narciso amarillo, huso de fraile); y arborescente: *Yucca spp.* (izote).

Modo de empleo:

Época cálida:

Regar mucho las plantas.

Época fría:

Regar poco las plantas.

## Techo del atrio

Modificación:

Instalación de una pérgola inclinada como **elemento de protección solar**. Esta pérgola reduciría el ingreso de la radiación solar directa en la época cálida. Ver detalle constructivo y gráfica solar con la zona de protección total de radiación directa en la Figura P1.

Nota: Si no se pretende recuperar la funcionalidad de las celdas fotovoltaicas, la pérgola se instalará por la parte de afuera. Esto es mejor desde el punto de vista térmico, ya que disminuye el calentamiento del vidrio y por tanto la radiación en infrarrojo. También la instalación es más fácil. Si se pretende recuperar la funcionalidad de las celdas fotovoltaicas, la pérgola se instalará por la parte de adentro.

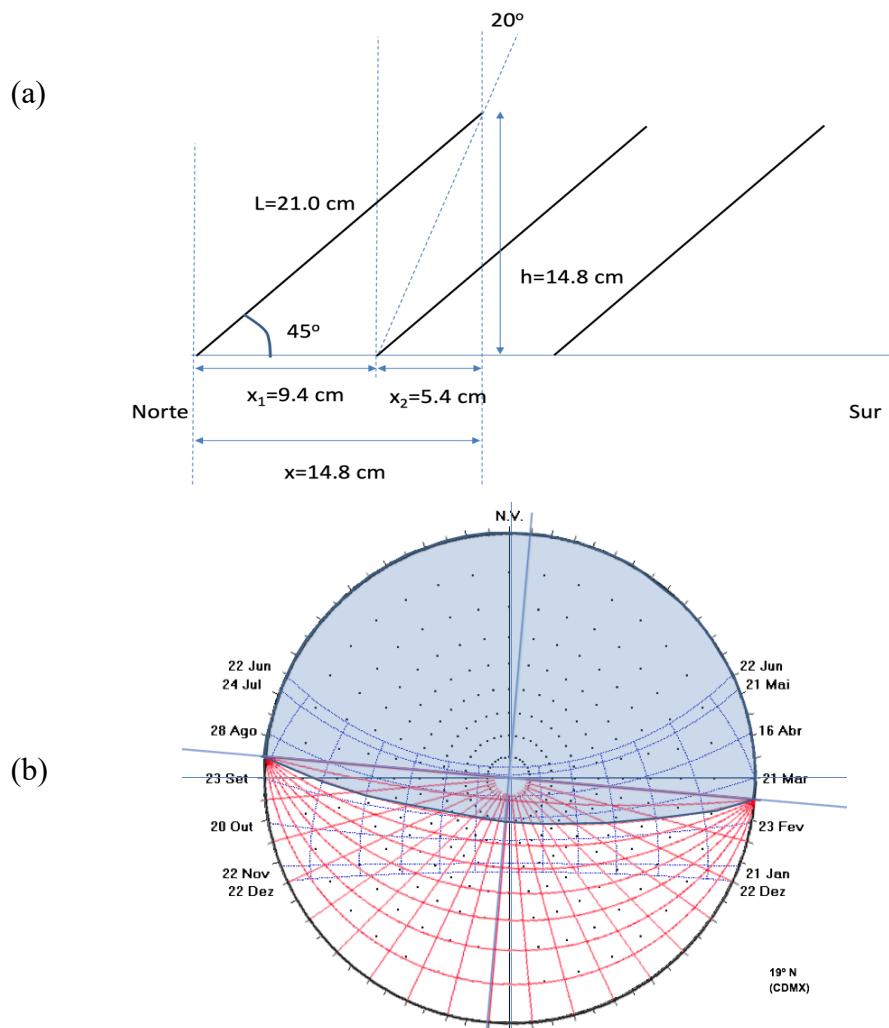


Figura P1. Pérgola en techo de atrio. (a) Esquema. Los elementos inclinados se repiten en todo el techo. Los ángulos  $45^\circ$  y  $20^\circ$  son requisito. El largo  $L$  de cada louver de la pérgola puede modificarse, siempre y cuando las demás dimensiones se modifiquen para tener los mismos ángulos. Las dimensiones se calculan como  $h=x=L/\sqrt{2}$ ,  $x_2=h/\tan 70^\circ$  y  $x_1=x-x_2$ . (b) Gráfica solar para la latitud de la CDMX con la zona de protección total de radiación directa (en azul).

Diagnóstico y recomendaciones cualitativas del comportamiento térmico  
Edificio de Ingenierías y Construcción del Instituto Federal de Telecomunicaciones

6 de mayo de 2024

## Ventanas sur

Modificaciones:

1. Niveles PB, 1 y 2. Incorporación de un alero (elemento horizontal opaco, puede ser una lámina metálica o plástica, con terminado metálico o pintada de blanco) como **elementos de protección solar**. De acuerdo con la información proporcionada por el IFT, la separación de las ventanas a la segunda piel es de 2.17 m y la altura de las ventanas en cada nivel es de 3.85 m. Por lo que un alero (elemento horizontal de protección solar directa) en cada piso, puesto a la altura máxima de las ventanas, entre las ventanas sur y la segunda piel, proporcionaría protección de radiación solar directa en la época cálida (marzo a septiembre). En marzo y septiembre solo entraría algo de radiación solar directa del amanecer a las 7:30 am y de las 4:30 pm al atardecer, de abril a agosto no entraría radiación solar directa por las ventanas sur. Ver detalle constructivo y gráfica solar con la zona de protección total de radiación directa en la Figura P2.
2. Niveles 1 y 2. Poner una sección obturable en cada una de las secciones de ventana de la herrería actual (o el mayor número posible) como **elementos de ventilación natural** y de **enfriamiento por ventilación nocturna** en la época cálida. Se sugiere que la parte obturable tenga 0.50 m de altura y se encuentre entre 0.70 m y 1.20 m de altura desde el piso, y que la forma de apertura sea corrediza, todas las secciones obturables en la misma dirección. Ver esquema constructivo en la Figura P3.

Modo de empleo:

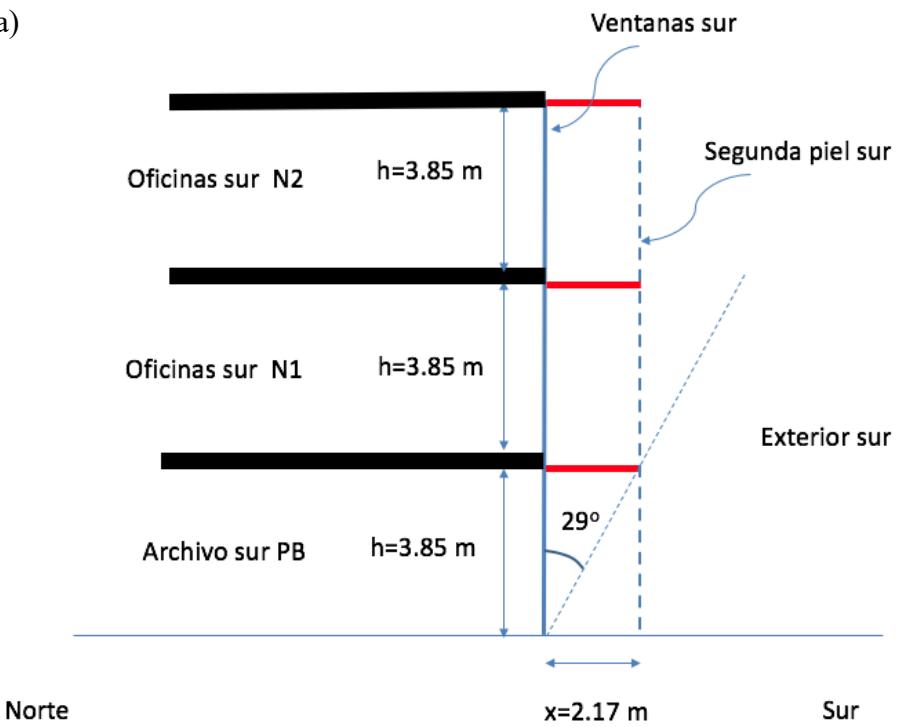
Época cálida:

En el día, abrir de acuerdo a las preferencias de los usuarios cercanos a cada sección obturable, procurando que algunas permanezcan abiertas para mantener una adecuada calidad de aire (baja concentración de CO<sub>2</sub>). En la noche, abrir ventanas.

Época fría:

En el día, abrir cuando la temperatura del aire al exterior sea mayor que la temperatura del aire al interior. En la noche, cerrar ventanas.

(a)



(b)

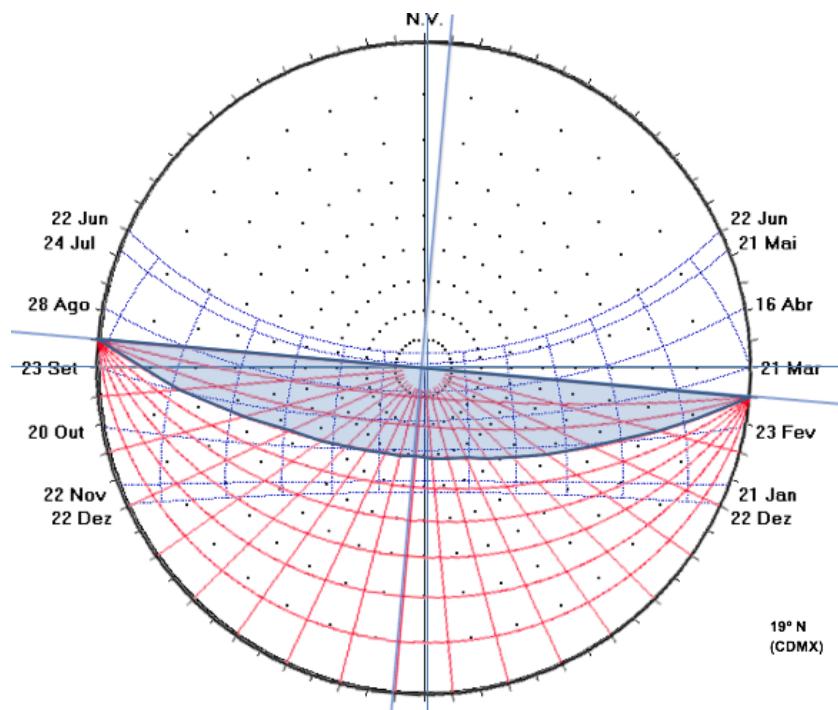


Figura P2. Aleros en ventanas sur. (a) Esquema, los aleros en cada piso están marcados en rojo. (b) Gráfica solar para la latitud de la CDMX con la zona de protección total de radiación directa (en azul).

Diagnóstico y recomendaciones cualitativas del comportamiento térmico  
Edificio de Ingenierías y Construcción del Instituto Federal de Telecomunicaciones

6 de mayo de 2024

## Ventanas norte

Modificación:

Poner una sección obturable en cada una de las secciones de ventana de la herrería actual (o el mayor número posible) como **elementos de ventilación natural y de enfriamiento por ventilación nocturna** en la época cálida. Se recomienda la forma de apertura corrediza. Las dimensiones sugeridas son: altura de la parte obturable 0.50 m, entre 0.70 m y 1.20 m de altura desde el piso. Ver esquema constructivo en la Figura P3. Si por cuestiones de seguridad las dimensiones de las partes obturables son grandes y a una altura baja por las que algún menor de edad pueda caerse, se deberá colocar algún elemento para evitarlo, pero que reduzca lo menos posible el flujo de aire.

Modo de empleo:

Época cálida:

En el día, abrir ventanas de acuerdo a las preferencias de los usuarios cercanos a cada sección obturable, procurando que algunas permanezcan abiertas para mantener una adecuada calidad de aire (baja concentración de CO<sub>2</sub>). En la noche, abrir ventanas.

Época fría:

En el día, abrir cuando la temperatura del aire al exterior sea mayor que la temperatura del aire al interior, de lo contrario, cerrar la mayoría de las ventanas y dejar abiertas algunas para mantener una adecuada calidad de aire (baja concentración de CO<sub>2</sub>). En la noche, cerrar ventanas.

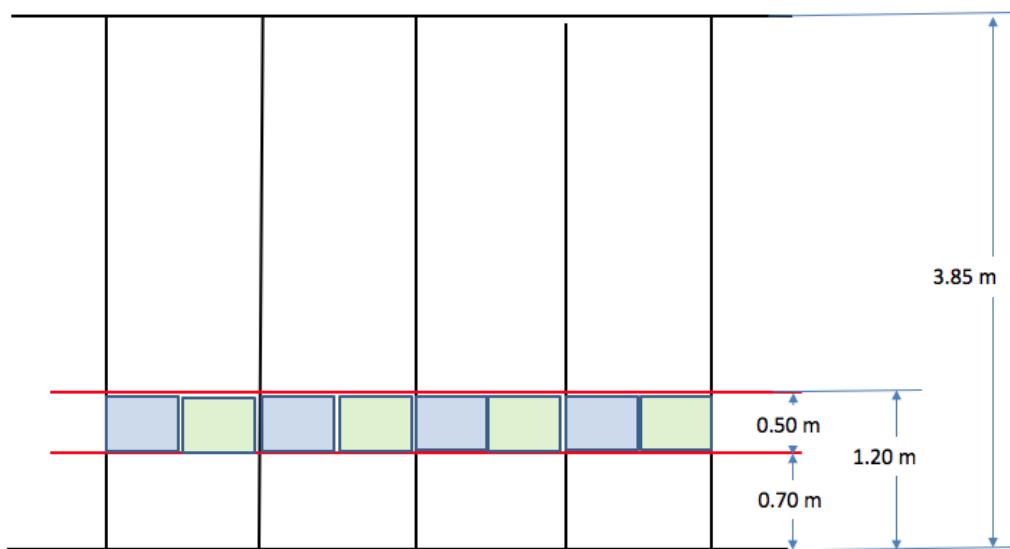


Figura P3. Esquema constructivo de las partes modificadas (en rojo) en cada una de las secciones de una ventana de la herrería actual, consistente en ventanas obturables en forma corrediza, donde una parte (en verde) es obturable y la otra fija (en azul). Para ventanas sur y ventanas norte.

## Zonas entre ventanas y segunda piel de las fachadas norte y sur a nivel suelo

Modificación:

Poner muchas plantas sombra con alta evapotranspiración (que soporten riego variable) como **elementos de enfriamiento evaporativo** para reducir la temperatura del aire por evapotranspiración de las plantas. Algunas de las plantas recomendadas son: árboles chicos: *Psidium sartorianum*. (arrayán, guayabillo); *Chamaedora spp.* (palmita camededora); aráceas trepadoras: *Monstera spp* (piñanona, mano de león) y *Philodendron spp.* (filodendro); y aráceas de suelo: *Spathiphyllum cochlearispathum* (cuna de Moisés).

Modo de empleo:

Época cálida:

Regar mucho las plantas.

Época fría:

Regar medianamente las plantas.

## Oficina grande central del nivel 2

Modificación:

Abrir ventanas en la parte inferior del muro que separa la oficina del pasillo enfrente a las escaleras oeste, abrir ventanas en la parte superior del muro que separa la oficina con la chimenea sur y cancelar aperturas de la chimenea sur que dan al atrio. Estas modificaciones son **elementos de ventilación natural**. Se propiciará que el aire que entra por las escaleras oeste desde el nivel del sótano ingrese por las ventanas inferiores y salga por las ventanas superiores de la chimenea sur creando una ventilación cruzada en la oficina. Se recomienda un área total mínima de apertura de ventanas de ambos lados de 1.0 m<sup>2</sup>. La figura P4 muestra la ubicación de estas ventanas en la oficina.

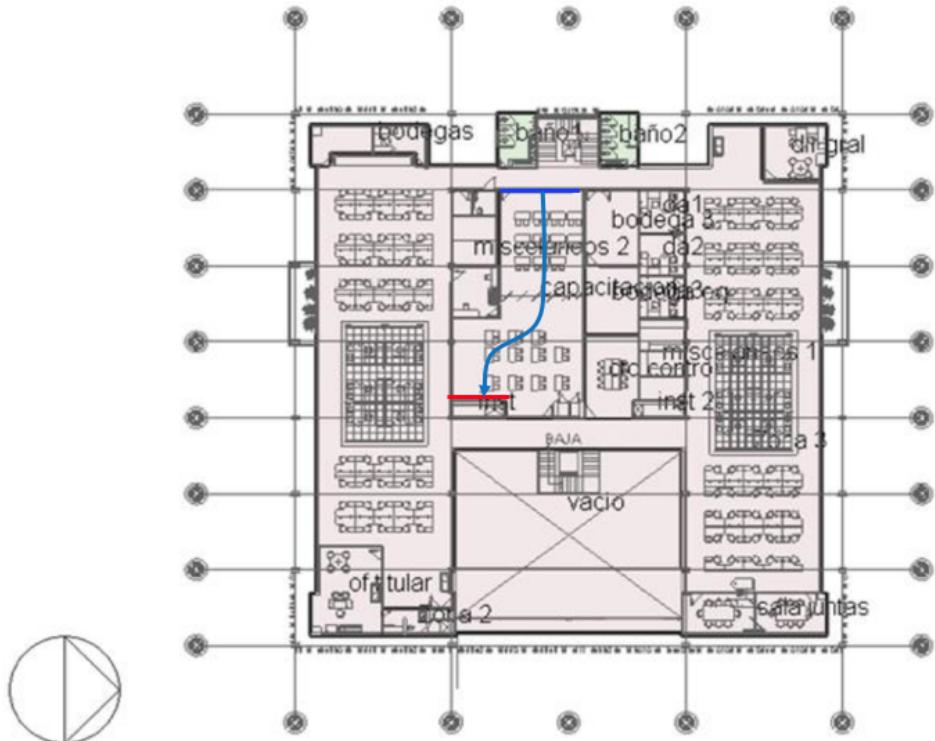


Figura P4. Oficina grande central del nivel 2. Esquema de la ubicación de las ventanas en la parte inferior del muro que separa la oficina del pasillo enfrente a las escaleras oeste (marcado en azul) y de las ventanas en la parte superior del muro que separa la oficina con la chimenea sur (marcado en rojo). Se indica con una flecha azul la trayectoria del flujo de ventilación cruzada.

### Tragaluces en el nivel azotea (exceptuando los de la oficina grande central del nivel 2)

Modificación:

Cambiar los tragaluces actuales a tragaluces ventilados o modificar los actuales de tal manera que existan aperturas para la salida del aire de todas las oficinas, como **elementos de ventilación natural**. En oficinas pequeñas del área central al norte, marcadas en la figura P5, se recomienda dejar abiertas las puertas cuando esto sea posible, para propiciar la ventilación cruzada desde ventanas norte hacia el tragaluz correspondiente.

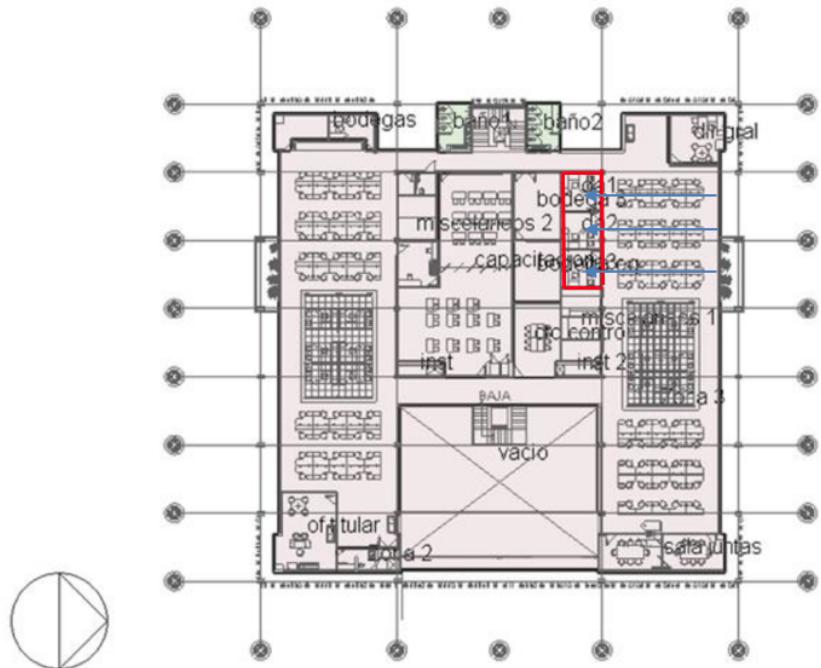


Figura P5. Oficinas pequeñas del nivel 2 (marcadas en rojo). Se indica con una flecha azul la trayectoria del flujo de ventilación cruzada que se tendría en cada oficina si se cambia a tragaluz ventilado, se abren aperturas en las ventanas norte y se mantiene abierta la puerta.