



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

**“Método de análisis de la calidad del ambiente interior aplicado
a un prototipo de celdas de alojamiento en centros
penitenciarios”**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN ARQUITECTURA
En el campo de conocimiento de tecnologías

PRESENTA:
Arq. Pamela Lucía Sánchez López

TUTOR PRINCIPAL
Mtro. en Arq. Arturo Valeriano Flores
Facultad de Arquitectura, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
Dr. Enrique Miguel Marín
Facultad de Arquitectura, UNAM
Mtro. Enrique Bonifacio Gallardo Amador
Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM

Ciudad de México, noviembre 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

MÉTODO DE ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR

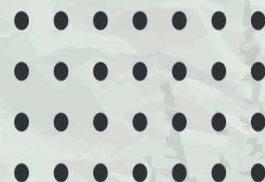
aplicado a un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios



Tesis que para optar por el grado de Maestra en Arquitectura en el campo de conocimiento de tecnologías

PRESENTA:

Arq. Pamela Lucía Sánchez López



UNAM
POSGRADO
Arquitectura



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES HISTÓRICAS

Tutor principal

Mtro. Arturo Valeriano Flores
Facultad de Arquitectura, UNAM

Sinodales

Dr. Enrique Miguel Marín
Facultad de Arquitectura, UNAM

Mtro. Enrique Bonifacio Gallardo Amador
Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM

Dra. Ilse García Villalobos
Facultad de Arquitectura, UNAM

Mtro. Jorge Rangel Dávalos
Facultad de Arquitectura, UNAM

Contenido

Agradecimientos	7
Introducción	9
Capítulo 1. Centros penitenciarios	15
1.1 Estructura del sistema penitenciario en México	15
1.2 Clasificación de las personas privadas de la libertad	15
1.3 Estructura general de los centros penitenciarios	20
1.4 Características del área de celdas	20
1.5 Centros penitenciarios como ambientes institucionales	22
Conclusiones	24
Capítulo 2. Calidad del Ambiente Interior	26
2.1 Factores químicos	27
2.2 Factores biológicos	28
2.3 Factores físicos	29
2.3.1 Ambiente higrotérmico	29
2.3.2 Calidad del aire	32
2.3.3 Iluminación	34
2.3.4 Sonido	37
2.4 Condiciones de habitabilidad en los centros penitenciarios	38
2.5 Algunas consideraciones de la neuroarquitectura y ambientes restauradores	40
Conclusiones	42
Capítulo 3. Instrumentos de evaluación de la calidad del ambiente interior	44
3.1 Normas específicas y equipos de medición	44
3.1.1 Ambiente higrotérmico	44
3.1.2 Calidad del aire	46
3.1.3 Iluminación	46
3.1.4 Sonido	47
3.2 Norma ISO 17772-1: 2017 / ISO 17772-2: 2018	47
3.2.1 Ambiente térmico	49
3.2.2 Calidad del aire	50
3.2.3 Humedad	51
3.2.4 Iluminación	51

3.2.5	Sonido	51
3.3	Norma NMX-C-577-ONNNCE-2020	52
3.4	Certificaciones	52
3.5	Simulaciones	54
3.6	Valoración de la calidad del ambiente interior en los centros penitenciarios	55
3.6.1	Reglas Mínimas para el Tratamiento de los Reclusos de las Naciones Unidas: Reglas Mandela.	55
3.6.2	Diagnóstico Nacional de Supervisión Penitenciaria	57
3.6.3	Acreditación ante la Asociación de Correccionales de América ACA	57
	Conclusiones	60
Capítulo 4. Método de análisis de la calidad del ambiente interior mediante ecuaciones matemáticas		62
4.1	Características del prototipo	64
4.2	Ambiente higrotérmico	66
4.3	Calidad del aire	82
4.4	Iluminación	87
4.5	Sonido	90
Capítulo 5. Aplicación del método y resultados obtenidos		93
5.1	Humedad	94
5.2	Temperatura	95
5.3	Calidad del aire	98
5.4	Iluminación	102
5.5	Sonido	104
5.6	Polígono de resultados	105
	Conclusiones	106
Conclusiones generales y futuras líneas de investigación		109
Referencias		117
Anexos		129

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Arquitectura y al Posgrado de Arquitectura.

Al Mtro. Arturo Valeriano Flores por su disposición, apoyo y orientación, y por no desistir a este tema controversial.

A la Dra. Ilse García Villalobos por su tiempo para explicar, revisar y también de platicar.

Al Dr. Enrique Miguel Marín, al Mtro. Enrique Bonifacio Gallardo Amador y el Mtro. Jorge Rangel Dávalos por sus contribuciones, así como a todos los maestros y doctores del Posgrado que, con su conocimiento compartido, aportaciones, cuestionamientos y observaciones se logró construir este tema de investigación.

A mis compañeros de generación por estar presentes aún a la distancia, en especial a Clau Gómez por su amistad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de esta investigación.

A mi mamá, por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión.

A Moy y a Benny por sus revisiones y aportaciones.

A toda mi familia por su apoyo espiritual.

A mis amigos por su apoyo anímico y emocional.

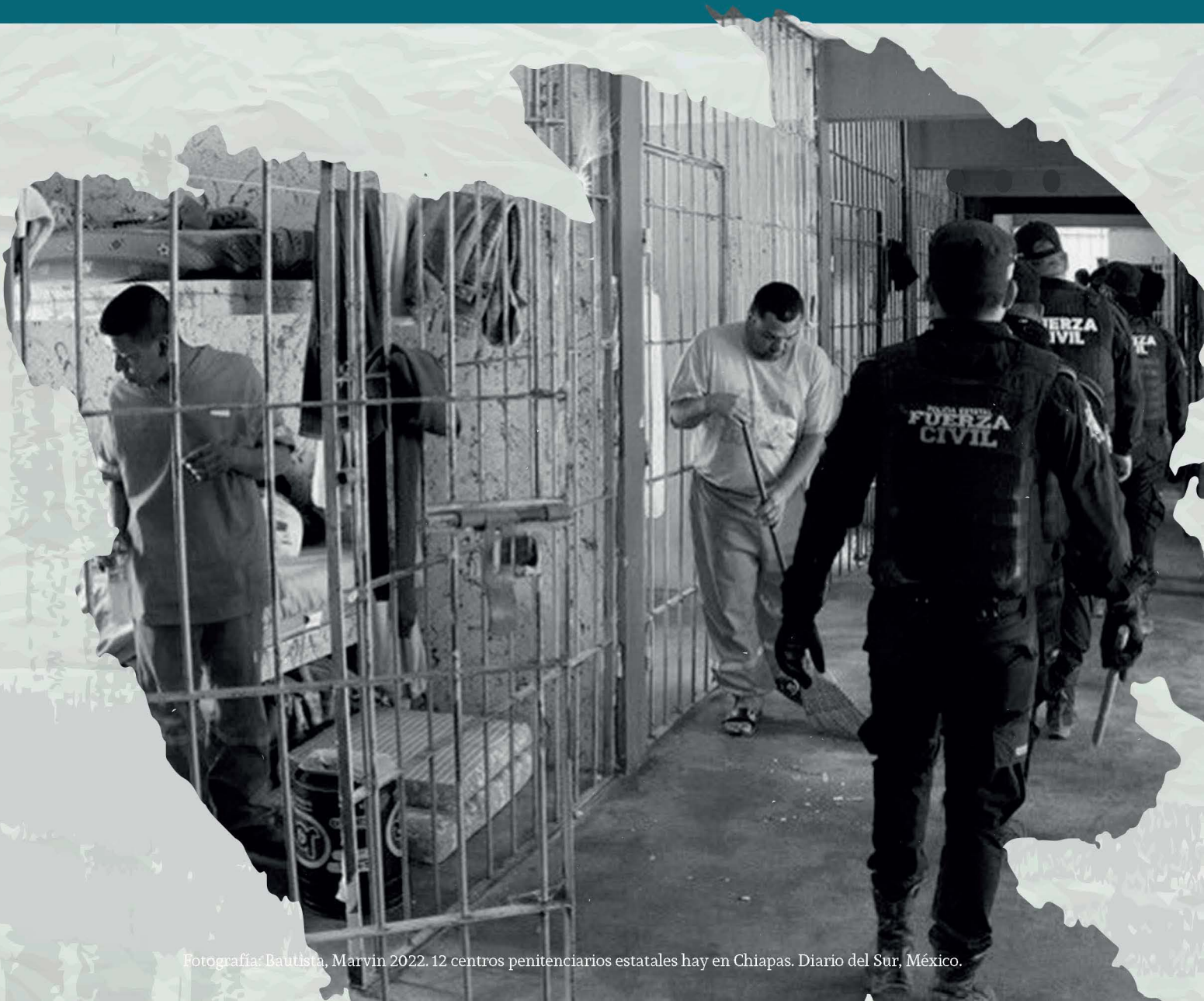
A Colectivo Arquitectura por darme el tiempo y el espacio para cumplir este sueño.

Al Padre de misericordias y Dios de toda consolación.

“Pues el necesitado no será olvidado para siempre, ni la esperanza de los afligidos perecerá eternamente.” Salmo 9:18



Introducción



Fotografía: Bautista, Marvin 2022. 12 centros penitenciarios estatales hay en Chiapas. Diario del Sur, México.

Introducción

Se ha estimado que las personas pasan alrededor del 90% de su tiempo en ambientes interiores (Cincinelli, A; Martellini, T, 2017), un grupo en específico, los privados de la libertad que habitan en los centros penitenciarios no son la excepción, puesto que esta parte de la sociedad se encuentra confinada a vivir recluida, sin posibilidad de salir por un tiempo prolongado.

El hecho de que permanezcamos en espacios cerrados la mayor parte de nuestra vida, ha generado un interés en el análisis y estudio de las condiciones ambientales al interior de los espacios, en particular en la vivienda (Yang, Shen, et al., 2020), escuelas (Díaz Pérez, 2020), oficinas (Ncube & Riffat, 2012) y hospitales (Cocom, 2018), ya que representan los principales sectores de la sociedad. Sin embargo, se ha dejado a un lado otra área vulnerable, los centros penitenciarios. En su mayoría estos espacios tienen muchos años de haber sido construidos y se encuentran en mal estado. En muchos de ellos, las instalaciones y los servicios son inadecuados y están lejos de ofrecer condiciones de detención humanas (CICR, 2011) en gran medida por el poco conocimiento o desinterés en esta tipología de edificio.

La Calidad del Ambiente Interior (CAI), como se denomina a las condiciones ambientales al interior de un espacio, se determina por los niveles de contaminación química, microbiológica y por los valores de los factores físicos: ambiente higrótérmico, calidad de aire, iluminación y ruido. Estos últimos, tienen la posibilidad de ser analizados desde un enfoque arquitectónico.

La importancia y el interés del estudio, así como la generación de normas y certificación de la calidad del ambiente interior en cualquier tipo de edificación, se debe a la repercusión que puede llegar a tener en la salud de las personas una mala calidad del ambiente interior. Actualmente, existen certificaciones y normas que evalúan la eficiencia energética de las edificaciones, y que dentro de los rubros que consideran, también se encuentra la calidad del ambiente interior. Una norma que hasta el momento trata específicamente la calidad del ambiente interior es la ISO 17772-1: 2017. Eficiencia energética de los edificios — Calidad ambiental interior —. Parte 1: Parámetros de entrada ambientales interiores para el diseño y la evaluación del rendimiento energético de los edificios junto con el reporte técnico ISO/TR 17772-2: 2017. Eficiencia energética de los edificios. Procedimientos generales de evaluación de la eficiencia energética. Parte 2: Directrices para el uso de parámetros de entrada ambientales interiores para el diseño y la evaluación del rendimiento energético de los edificios.

Para los centros de detención en general, existen las reglas Mandela, las cuales, consideran importante el volumen de aire, superficie mínima, iluminación, calefacción y ventilación (ONU, 2015), Sin embargo, no especifican con mayor detalle y requerimiento, cómo deben ser estas condiciones.

Por su parte, la ACA (Asociación de Correccionales de América) lleva a cabo la acreditación de estándares internacionales y busca —entre otras cosas—, proveer las necesidades básicas y atención personal para el cuidado de la comunidad, aunque, no considera dentro de su evaluación a la calidad del ambiente interior.

Es así que encontramos una falta de conocimiento de las condiciones de habitabilidad de las personas privadas de la libertad, desde el punto de vista de la calidad del ambiente interior, y por ello, se sigue cayendo en inconsistencias y, hasta cierto punto, en violaciones a sus derechos humanos.

Y es que la sobrepoblación y el hacinamiento, dos constantes indestructibles del sistema penitenciario en México afectan considerablemente las condiciones de habitabilidad de las personas privadas de la libertad, las cuales fueron evidentes durante la emergencia sanitaria generada por el virus Sars-CoV-2 COVID-19, ya que tanto México como diversos países en el mundo, optaron por liberar a las personas privadas de la libertad, para evitar la propagación del virus Sars-CoV-2 COVID-19. Para el mes de mayo de 2020 se proveyó del siguiente número de libertades; Afganistán, 12 000; Bélgica, 1000; Egipto, 4000; Estados Unidos, 1385; Francia, 10000; Portugal, 1867; Uganda, 833; entre otros (Nuevatribuna.es, 2020).

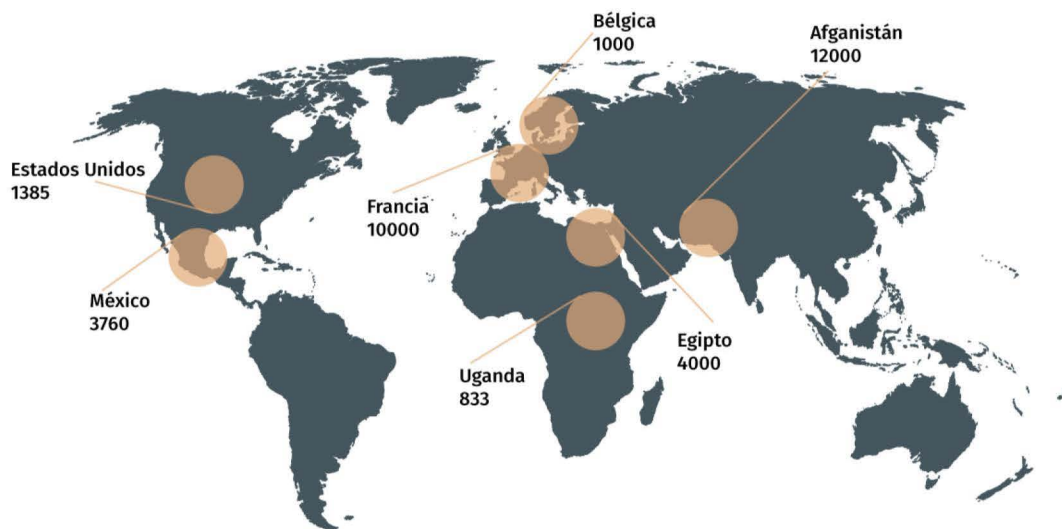


Figura 1. Liberación de personas privadas de la libertad hasta el mes de mayo de 2020 para reducir riesgo de contagios por el virus Sars-CoV-2 COVID-19.

Podemos apreciar que es una situación compleja, ya que queda en duda si la decisión que los diferentes gobiernos tomaron al liberar a las personas privadas de la libertad por cuestiones de sobrepoblación y hacinamiento, solo consideró evitar la propagación de contagios, y no se pensó en cómo regresarían a ser parte de la sociedad, vulnerando esta.

Aun cuando se tuvo que liberar a las personas privadas de la libertad para evitar contagios, en octubre de 2020, el gobierno federal publicó el cierre de los tres Centros Federales de Readaptación Social (CEFESOS) más grandes del país: Islas Marías, Puente Grande, y el Sureste de Huimanguillo, lo que conllevó a un traslado masivo de 3524 personas privadas de libertad a otros Centros (Asilegal, 2020). Posterior a ello, se cerraron dos más: el número 3 Noreste, en Matamoros y el número 10 en Coahuila (Castillo, 2020).

Ante la situación del cierre de (hasta ese momento) cinco centros penitenciarios, el secretario de seguridad y protección ciudadana, Alfonso Durazo Montaña, expresó “Aun así, tenemos todavía 16 mil 600 espacios disponibles para este proceso de cierre de penales que reúnen condiciones mínimas para la reclusión de personas privadas de la libertad” (Gutiérrez, 2021). Sin embargo, esto no parece una realidad ante la emergencia sanitaria ya que hasta enero de 2021, se requirió despresurizar los centros penitenciarios otorgando la libertad a 3972 internos (Asilegal, 2021).

Finalmente, para julio de 2020, el Senado de la República aprobó la reforma presentada a principios de 2019, en la que se instaura la *prisión preventiva oficiosa* a diversos delitos graves y violentos, varios de los cuales se adicionan al artículo 19 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Senado de la República, 2020). De esta manera, por motivos que antes no eran imputables, y que ahora sí, un mayor número de internos estarán reclusos –en un periodo de tiempo de no más de dos años– hasta que se compruebe su inocencia o culpabilidad, lo que motiva la sobrepoblación y, además, viola el derecho a la *presunción de inocencia* (Luna Leyva, 2020).

Lo antes descrito muestra la necesidad de analizar las condiciones de habitabilidad de las personas privadas de la libertad. Sobre esta base se plantea la siguiente hipótesis: *es posible analizar la calidad del ambiente interior de un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios por medio de un método analítico con ecuaciones matemáticas, y a su vez compararlo con la norma ISO 17772.*

La hipótesis, nos lleva al planteamiento de las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son las condiciones de la calidad del ambiente interior de las celdas de alojamiento en centros penitenciarios? ¿Cuál es el aspecto físico de la calidad del ambiente interior más importante en una celda de alojamiento? ¿Cómo afectan las condiciones interiores de los espacios a las personas privadas de la libertad? ¿La seguridad que debe existir en estos espacios, repercute en la calidad del ambiente interior?

Su respuesta se logrará mediante los siguientes objetivos:

General

- Seleccionar el método analítico —ecuaciones matemáticas— para cada aspecto de la calidad del ambiente interior que pueda ser comparado con la norma ISO 17772 y aplicado en un prototipo de celdas en centros penitenciarios.

Específicos

- Analizar los métodos, criterios y parámetros de la norma ISO 17772 con el propósito de conocer su pertinencia como línea base.
- Especificar las características arquitectónicas, de población y ubicación geográfica del prototipo de celdas de alojamiento.
- Evaluar y medir las condiciones de la calidad del ambiente interior del prototipo de celdas seleccionado para identificar el desempeño de la temperatura, humedad, calidad del aire, iluminación y sonido que tiene con respecto a la norma ISO 17772.

Para ello, el presente documento se divide en cinco capítulos;

Capítulo 1. Centros penitenciarios. Nos adentra en la estructura del sistema penitenciario en México, la clasificación de las personas privadas de la libertad y la situación de sobrepoblación que existe actualmente. Asimismo, se presenta un término utilizado por la psicología ambiental para este tipo de espacio, *ambiente institucional*.

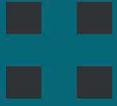
Capítulo 2. Calidad del ambiente interior. Muestra la importancia del análisis de la calidad del ambiente interior —ambiente higrotérmico, calidad del aire, iluminación y sonido—; sus características, instrumentos de medición, normas, para cualquier tipo de edificación, pero, sobre todo, para el tema que nos concierne, correspondiente a centros penitenciarios. Además, nos sensibiliza al conocer, cómo viven las personas privadas de la libertad. Finalmente se plantean algunas consideraciones de neuroarquitectura y ambientes restauradores.

Capítulo 3. Instrumentos de evaluación de la calidad del ambiente interior. Realiza una breve descripción de las certificaciones y normas que evalúan cada aspecto físico de la calidad del ambiente interior, entre ellas se describe con mayor detalle la norma ISO 17772. Asimismo, se presentan los criterios de evaluación con respecto a las condiciones ambientales interiores que considera la Asociación de Correccionales de América (ACA) en los centros penitenciarios.

Capítulo 4. Método de análisis de la calidad del ambiente interior mediante ecuaciones matemáticas. Se explican y desarrollan las ecuaciones matemáticas utilizadas para la obtención de datos del ambiente higrotérmico, calidad del aire, iluminación y sonido. Se presentan las características del prototipo de celdas. Se genera el simulador, es decir, la aplicación de las ecuaciones en dicho prototipo. También, se explican los métodos, criterios y parámetros de la norma ISO 17772 que fueron utilizados como línea base.

Capítulo 5. Aplicación del método y resultados obtenidos. Con la aplicación de las ecuaciones matemáticas y el uso de la línea base, se presentan los resultados del ambiente interior del prototipo de celdas por cada aspecto para finalmente concluir en un polígono de resultados. Asimismo, se articula el marco teórico con el método de análisis utilizado en un intento por resolver el problema planteado desde la perspectiva cualitativa y cuantitativa.

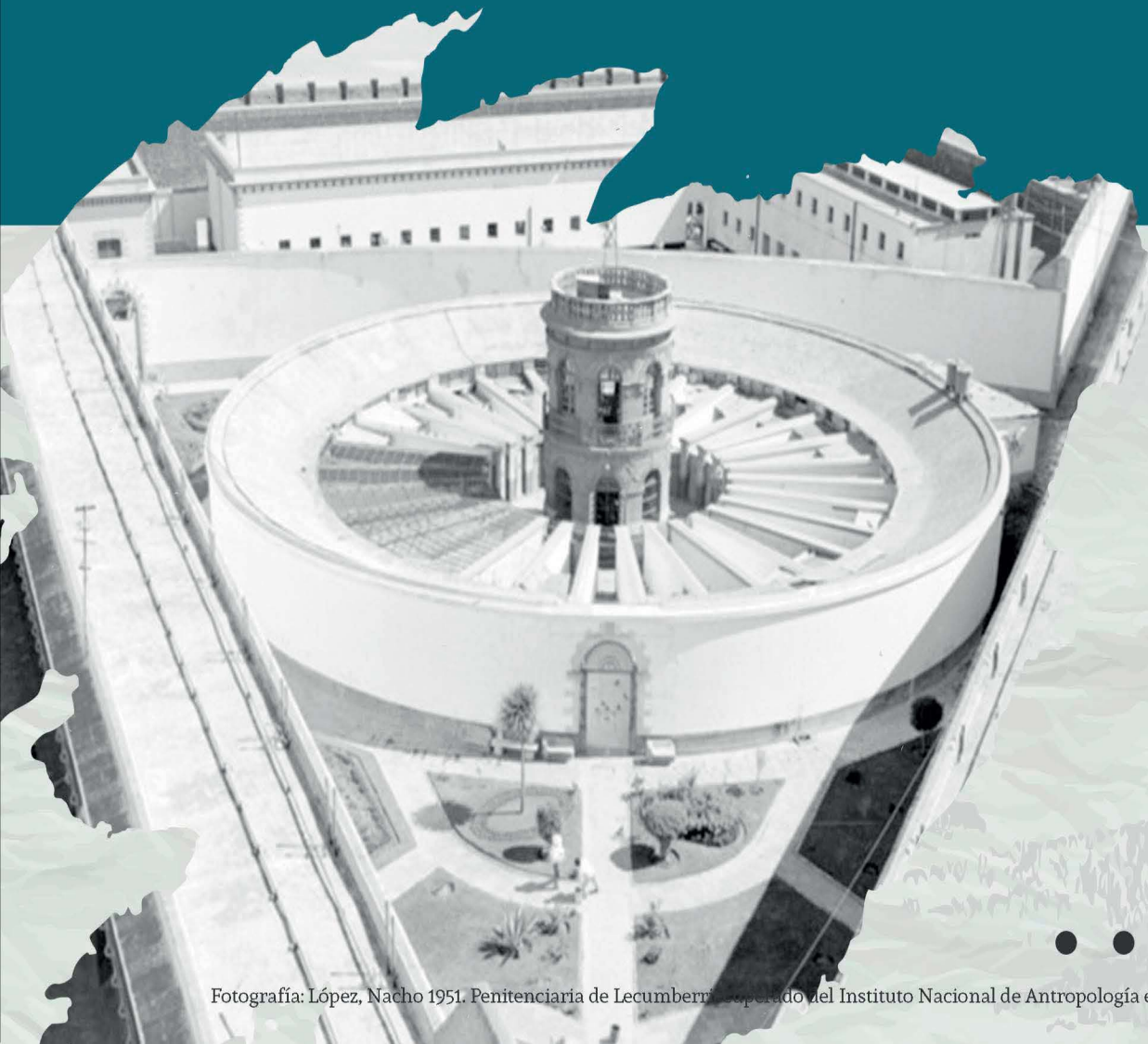
Conclusiones generales y futuras líneas de investigación. Se presentan las reflexiones, cuestionamientos, y propuestas obtenidas a lo largo de la investigación.



CAPÍTULO 1

CENTROS PENITENCIARIOS

La prisión, desde su origen mismo, para Foucault es “[...]la intersección de destinos desafortunados y de la ley, el lugar de encuentro del sujeto y de la verdad”, tal y como lo menciona Lutz (2005), en El encierro foucaultiano y sus perspectivas actuales.



Capítulo 1. Centros penitenciarios

La sociedad está constituida por diferentes grupos de personas, unas consideradas como parte fundamental del sistema, y otras que lamentablemente llegan a ser llamadas *un mal necesario* (Castellote, 1993). Los actos de estas últimas, las han llevado a pertenecer a un grupo legalmente segregado y sentenciado a vivir en cierto lugar, y bajo ciertas condiciones; un lugar que para Foucault es “[...]la intersección de destinos desafortunados y de la ley, el lugar de encuentro del sujeto y de la verdad”, tal y como lo menciona Lutz (2005), en *El encierro foucaultiano y sus perspectivas actuales*.

1.1 Estructura del sistema penitenciario en México

En México, ese “sujeto” y “la verdad” coinciden en un sistema penitenciario compuesto por instituciones a nivel municipal, estatal y federal, donde las autoridades son responsables de custodiar a los acusados que cometen delitos (Tagle, García, & Torres, 2015). Moreno (2001) explica que, de acuerdo con la ley, los delitos que se persiguen dentro de los estados son del fuero común, y son aquellos que afectan individualmente a las personas, mientras que los del fuero federal afectan la salud, la economía, el patrimonio y la seguridad de la nación, por lo tanto se persiguen en toda la República. Algunos delitos del fuero común son: robo a transeúntes, robo de vehículo, robo a casa habitación, robo a camión repartidor, robo a negocio, lesiones, daño en propiedad ajena, cohecho, fraude, delitos sexuales, homicidio, corrupción de menores, lenocinio, abuso de autoridad, allanamiento de morada, falsificación de documentos, ataques a la paz pública, ultrajes a la moral pública y robo de ganado. Por otra parte, son delitos del fuero federal: la portación de arma de fuego sin licencia, los ataques a las vías de comunicación, el narcotráfico y otros delitos contra la salud, así como: daños o robo al patrimonio arqueológico, artístico e histórico, delitos electorales y en materia de registro nacional de ciudadanos, delitos ambientales, contrabando, defraudación fiscal, reproducción ilegal de audio, videocasetes y programas de cómputo, robo a bienes de la nación, delitos en materia de derechos de autor, etcétera.

Esta manera de dividir los delitos por fuero genera agrupaciones de personas con delitos similares, y permite trabajar de una mejor manera con grupos afines. De no ser así, se podría caer en el riesgo de promover otros tipos de delincuencia en los internos.

1.2 Clasificación de las personas privadas de la libertad

Una vez estipulado el tipo de delito –fuero común o federal– se realiza una clasificación mediante la cual, se separa a los internos en las distintas instituciones penitenciarias existentes (así como en las áreas de alojamiento y convivencia dentro de las

mismas), de acuerdo con las características de las personas, con el objetivo de buscar su readaptación social. Para el 2016, los criterios de clasificación por parte de la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) fueron:

Situación jurídica	Procesados. Persona con carácter de presunto culpable que debe comparecer ante el juez o tribunal, el cual le impondrá la pena correspondiente. Sentenciados. Persona que cumple una condena impuesta por un juez o tribunal, como pena por algún tipo de delito.
Género	Hombres Mujeres
Edad	Adultos Menores de edad
Régimen de vigilancia	Delincuencia organizada Delincuencia convencional

Figura 2. Criterios de clasificación básica de las personas privadas de la libertad (CNDH, 2016a)

Para la reclusión de las personas privadas de la libertad, en México, existen diferentes tipos de centros penitenciarios en función del organismo responsable de su administración, y de acuerdo con el tipo de delitos. Hasta enero del 2022, la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (SSPC) considera los siguientes tipos de centros penitenciarios:

- CASDAI Centro de Alta Seguridad para Delitos de Alto Impacto
- CECJUDE Centro de Consecuencias Jurídicas del Delito
- CEDES Centro de Ejecución de Sanciones
- CEFEREPSI Centro Federal de Rehabilitación Psicosocial
- CEFERESO Centro Federal de Readaptación Social
- CEINJURE Centro Federal Integral de Justicia Regional
- CEPRERESO Centro Preventivo de Readaptación Social
- CERERESO Centro Regional de Readaptación Social
- CERESO Centro de Readaptación Social
- CPRS Centro de Prevención y Readaptación Social
- CRES Centro de Reeducción Social
- CRS Centro de Reinserción Social

En el caso de los CEFERESOS, el Órgano Administrativo Desconcentrado de Prevención y Readaptación Social (OADPRS) es la institución encargada de la reclusión de personas procesadas, la ejecución de sentencias y la aplicación de tratamientos de readaptación social (SEGOB, 2017).

Una vez dentro de los centros penitenciarios, las personas sentenciadas y procesadas se convierten en personas privadas de la libertad, y son nuevamente clasificadas dentro de un régimen de baja, media y alta seguridad (CNDH, 2016a). La Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (UNODC) (2015) indica que el propósito de esta subdivisión, es separar a los reclusos, tomando en cuenta las circunstancias por las que se encuentran ahí, los efectos que puedan causar en los demás internos y para su readaptación social.

Hasta este punto, la categorización del sistema penal suena propicia para tener un control de todas aquellas personas que hayan cometido algún delito. Sin embargo, la realidad en muchos casos difiere, no solo desde un punto de vista de impartición de justicia, sino también de derechos humanos. Por ejemplo, en el caso de procesados y sentenciados se han encontrado centros que combinan a los dos grupos en las mismas áreas. Además, con respecto a los procesados, existen personas privadas de la libertad que pasan muchos años sin una sentencia. Como lo muestra la Figura 3 hasta octubre de 2020, el 41.9% de la población total, tanto del fuero común, como del federal, perteneció a las personas procesadas.

Población total	214,776		Hombres	202,982	94.51%
			Mujeres	11,794	5.49%
Población privada de la libertad del fuero común	186,247	86.72%	Población privada de la libertad procesada	77,951	36.29%
			Población privada de la libertad sentenciada	108,296	50.42%
Población privada de la libertad del fuero federal	28,529	13.28%	Población privada de la libertad procesada	12,052	5.61%
			Población privada de la libertad sentenciada	16,477	7.67%

Figura 3. Número de personas privadas de la libertad para octubre de 2020 (SSPC, 2020).

En otras palabras, casi la mitad de los internos están en espera de una sentencia que puede llevar varios años en ser emitida, como lo expresa un recluso en una entrevista:

¿Cómo van a bajar la sobrepoblación si no se apuran a dictar sentencia? Yo llevo dos años esperando por el delito de robo con violencia, pero hay muchos que llevan más tiempo. Tengo un compa que hasta le quedaron a deber: llevaba ocho años aquí y lo sentenciaron a seis (Zavala, 2020)

De esta manera, existen personas reclusas que no poseen delito probado, junto a los sentenciados, que pueden ser de cualquier régimen —baja, media o alta seguridad—, ya que muchas veces no se realizan exámenes o la valoración para determinar el lugar al que deben pertenecer.

Queda claro que, cualquier persona que cometa algún delito debe ser juzgada y puesta bajo vigilancia por los organismos correspondientes, pero ¿bajo qué criterio y condiciones arquitectónicas se realizan estos actos?

SISTEMA PENITENCIARIO EN MÉXICO



Municipal



Estatal



Federal

DELITOS FUERO COMÚN

DELITOS FUERO FEDERAL



Robo a vehículo



Portación de armas de fuego sin licencia



Robo a casa habitación



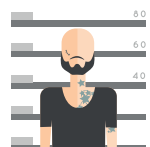
Reproducción ilegal de audio, video, programas de cómputo



Falsificación de documentos



Defraudación fiscal



Procesados

CLASIFICACIÓN DE LAS PERSONAS PRIVADAS DE LA LIBERTAD (PPL)



Sentenciados

Situación jurídica

Género



Edad



Régimen de vigilancia (delincuencia organizada o convencional)



RÉGIMEN DE SEGURIDAD



Mínima



Mediana



Máxima

ÓRGANOS DE VIGILANCIA

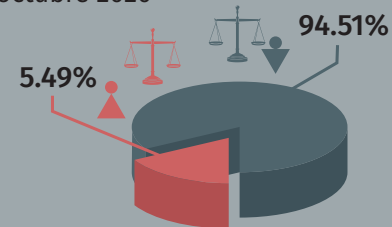


- CASDAI
- CECJUDE
- CEDES
- CEFEREPSI
- CEFERESO
- CEINJURE
- CEPRERESO
- CERERESO
- CERESO
- CPRS
- CRES
- CRS

El Órgano Administrativo Desconcentrado de Prevención y Readaptación Social (OADPRS), organiza y administra los Centros Federales de Readaptación Social (CEFERESOS).

POBLACIÓN PENITENCIARIA

octubre 2020



FUERO COMÚN



36.29%
Procesados



50.42% Sentenciados

FUERO FEDERAL



5.61%
Procesados



7.67%
Sentenciados

INFOGRAFÍA DEL SISTEMA PENITENCIARIO EN MÉXICO. Elaboración propia.

Fuentes de información:

Tagle et al., (2015); Moreno (2001); CNDH (2016a); SEGOB (2017); SSPC (2020).

1.3 Estructura general de los centros penitenciarios

En cuanto al número de centros penitenciarios en el país, la SSCP (2020) informó la existencia de 17 centros penitenciarios del gobierno federal, 13 centros del gobierno de la ciudad de México y 261 centros de los gobiernos estatales, dando un total de 291. Aunque todos ellos pueden ser diferentes en su arquitectura (forma, estética, dimensión, entre otros aspectos); existen algunas consideraciones básicas que la mayoría debe tener para el correcto ejercicio de sus funciones. Por ejemplo, en cuanto a su zonificación, estos recintos se dividen en dos zonas –interna y externa– de acuerdo con el nivel de seguridad particular de cada área.

La zona externa comprende el acceso de personal y visitas, así como la administración, centro de control y monitoreo, los juzgados, servicios, vestuarios y comedor de empleados; guardia externa (cuarteles), armería y área canina. En la zona interna reside el área de visitas, el centro de admisión y clasificación, aulas, talleres, clínica, áreas de recreación, guardia interna y servicios penitenciarios, así como el área de internamiento con los módulos de celdas con régimen de baja, media y alta seguridad.

Ambas zonas conforman un gran complejo en el que se desarrolla la vida de muchos actores, (internos, custodios, personal administrativo, operativo y visitas), y en donde se realizan diversas actividades. Sin embargo, el presente tema de investigación se enfoca en el que se considera el espacio rector de un centro penitenciario, es decir, el área de alojamiento (también llamado área de internamiento o de celdas). Esta selección se explicará con mayor detalle en el Capítulo 4.

1.4 Características del área de celdas

Las personas privadas de la libertad, como se ha mencionado, son clasificadas por tipo de fuero –común y federal–; situación jurídica–procesados y sentenciados–; género –mujeres y hombres–; edad –adultos y menores de edad–; y finalmente de acuerdo con el régimen –baja, media y alta seguridad–. El régimen también se conoce como de mínima, mediana y máxima seguridad. A continuación, se abordará de manera puntual el régimen que, entre otras cosas, tiene que ver con el número de personas dentro de la celda. Aunque, como ya se planteó, existe sobrepoblación de personas privadas de la libertad en todo el mundo, la investigación analiza las condiciones *idóneas* que describe el documento *Criterios para un sistema orientado al respeto de los Derechos Humanos: Un modelo de prisión* (CNDH, 2016b), que a continuación se presenta.

Régimen de mínima seguridad (Celda quintuple)

La configuración para el régimen de baja seguridad pertenece a aquellos internos que pueden convivir libremente con grupos mayores de personas, sin que esto represente un riesgo para el centro. La mayor parte de la población penitenciaria se encuentra en este régimen. Sin embargo, el nivel de criminalidad depende de la ubicación regional. Las habitaciones son compartidas por cinco personas. Con estos grupos de personas, se pueden conformar pabellones de 120 hasta 180 personas.



5 ppl 

Régimen de mediana seguridad (Celda triple)

Por su comportamiento conflictivo, en el que algunas veces ponen en riesgo su integridad física y las de los demás internos, en este régimen, las personas privadas de la libertad son restringidas de manera parcial. Las habitaciones son compartidas por tres personas. Con estos grupos de personas, se pueden conformar pabellones de máximo 90 personas.



3 ppl 

Régimen de máxima seguridad (Celda individual)

En este régimen se encuentran aquellas personas privadas de la libertad que tienen poca o nula receptividad a los programas de readaptación social, y, por lo tanto, representan un alto riesgo para la institución. Para este tipo de internos debe existir cierta atención personalizada —alimentación dentro de la celda, visitas y programas de readaptación, así como consulta médica—. Las habitaciones son individuales. Las actividades deportivas y recreativas al aire libre deberán ser de manera separada y con una hora al día como mínimo.



1 ppl 

Casos particulares de alojamiento (celda individual)

El alojamiento de ingreso, observación y clasificación, se conforma por celdas individuales con baño, en las que alojan a las personas privadas de la libertad, por un periodo de tres a cuatro semanas. Este tipo de celdas también se considera para aquellas personas con discapacidad.

La anterior descripción nos permite entender la necesidad de dividir a las personas privadas de la libertad, de acuerdo con el comportamiento que tengan. Aun así, surge la interrogante sobre la cantidad de personas agrupadas en una celda y también en un pabellón. Es cuestionable la habitabilidad de una celda compartida por cinco personas, que en teoría han tenido un mejor comportamiento, con respecto a la celda individual, para los que resultan ser más peligrosos, y que, al parecer, tienen más privilegios al no compartir alojamiento. Esto puede mostrar una discriminación inversa o discriminación positiva, en la que se favorece a las minorías sobre el grupo dominante, y desencadenar en situaciones de molestia y riñas por parte de los no privilegiados. Desde otra óptica, una discriminación radicaría en relegar a estas personas lejos del resto, ya que “lo exclusivo también margina y segrega” (Buenfil, 2021).

1.5 Centros penitenciarios como ambientes institucionales

Todo lo descrito en este capítulo nos indica que los centros penitenciarios se desarrollan como ambientes institucionales, puesto que tienen una función pública, y a ello sumamos el hecho de que alojan grupos de personas consideradas *no deseadas* sus características son particulares. Por ejemplo, ser construidos en lugares alejados de la urbe, así como también totalmente cerrados y aislados. Notemos específicamente en este caso que la construcción se basa en la estructura, seguridad y control como una situación primordial en su diseño, y lo que se podría llamar *habitabilidad* queda en último término, o hasta puede nunca existir. Difícilmente se piensa en los individuos que radican en dicho espacio, que como ya se había mencionado, son diversos, pues no solo el interno *sufre* este lugar, sino también todas aquellas personas que la rodean y que constituyen su red de vínculos.

Al retomar el tema de sobrepoblación, anteriormente se expuso solo como una cuestión del número de personas en un mismo espacio, pero, va más allá. También la falta de intimidad y/o de un espacio personal, es un índice de sobrepoblación, que puede derivar en agresión, mortandad masiva y comportamientos anormales, como lo explica con mucho mayor detalle Hall (1972), en *La dimensión oculta*, a través de diferentes estudios que hizo en animales. Del mismo modo, una investigación de Cox, Paulus y McCain de 1984 indica que la sobrepoblación en los centros de internamiento produce mayores índices de muertes violentas, suicidios, infracciones, así como comportamientos psicopatológicos. Las celdas

con más de una persona derivan en ansiedad, miedo o agresividad (Aragonés & Américo, 2010).

No obstante, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (DOF, 2020), en su artículo 18, nos indica que la razón de ser de estos lugares es “lograr la reinserción del sentenciado a la sociedad y procurar que no vuelva a delinquir, observando los beneficios que para él prevé la ley”. Para lograr esta reinserción, se debe fomentar la salud tanto física como mental de las personas a través de un ambiente saludable. Se puede definir como ambiente saludable a aquel que tiene ciertas cualidades físicas que influyen en el comportamiento de las personas y sus comunidades (Martínez & Montero, 2010).

Sin embargo, en lo que concierne a la arquitectura, los centros penitenciarios (por lo menos en Latinoamérica) están lejos de buscar la reinserción de las personas, puesto que se siguen manteniendo las mismas características constructivas de siglos pasados: muros, pisos y losas de concreto gris, rejas, corredores largos, oscuros y fríos, pequeñas ventanas que son el único contacto con el exterior, ausencia de vegetación para evitar que el espacio sea vulnerable, así como total impersonalidad, por mencionar algunas. Lo anterior hace cuestionarse ¿Quiénes y por qué diseñan espacios para vivir de esta manera? ¿Con qué fin?

“

Por ello Jewkes (2018) concluye que:

Rara vez se ha discutido el papel del arquitecto individual en el diseño del castigo; no solo en el sentido de crear físicamente lugares y espacios de custodia, sino también en la medida en que el arquitecto, consciente o inconscientemente, produce y reproduce filosofías y prácticas punitivas y/o nocivas. (p.321)

”

Jewkes encontró que los elementos básicos comunes que las personas privadas de la libertad buscan con los que puedan ejercer su individualidad y existencia, incluyen la privacidad, la socialización y tener actividades que los dignifiquen, en las que puedan compartir tanto con los demás internos como con sus familiares. Asimismo, menciona algunas características de la calidad del ambiente interior, como la temperatura, ventilación, el contacto con la naturaleza, temas que están estrechamente relacionados con lo que se abordará en el siguiente capítulo, motivo del presente documento.

Conclusiones

La estructura penitenciaria en México históricamente guarda una gran complejidad que seguirá presente a lo largo de su existencia. Por lo tanto, no sorprende que la situación que viven las personas privadas de la libertad muchas veces esté lejos de nuevas oportunidades de vida. Aun cuando existen criterios de diseño como *Un modelo de prisión*, es importante profundizar más allá del número de personas dentro de un espacio. Se deben promover alternativas de habitabilidad en el ambiente penitenciario con el que se logren procesos de rehabilitación que impliquen beneficios tanto de manera individual como a una escala social.

La gran variedad de delitos que existen, así como los que poco a poco se irán sumando, requiere de nuevas formas de atacar la complejidad que se avecina. Por lo tanto, es imperativo realizar un trabajo multidisciplinario en el que se ataque: una clasificación de las personas privadas de la libertad más analizada, resolución de juicios eficientes y lo que nos compete en este tema de investigación: un replanteamiento de la estructura física de estos espacios. Todo ello con el propósito de estar orientado a la reinserción social de las personas privadas de la libertad que debería ser el fin principal de este tipo de ambientes institucionales.

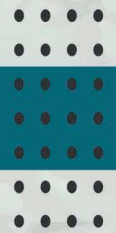
El problema no solo recae en la misma institución, sino también en la constante modificación de políticas públicas que a veces no miran todos los ángulos, generan controversia y con frecuencia violaciones a los derechos humanos.

Como sociedad —en particular los arquitectos—, también nos compete voltear a ver a este grupo social, pues aquí se hace evidente que los derechos humanos no solo tienen que ver con sociólogos, servidores sociales, abogados o políticos, el diseño de los centros penitenciarios muestra que, como arquitectos, también tenemos una importante participación para que puedan ser ejercidos.



CAPÍTULO 2

Calidad del Ambiente Interior



“La arquitectura es el arte de componer y de realizar todos los edificios públicos y privados. Para que un edificio sea conveniente es preciso que sea sólido, salubre y cómodo”.

Jean-Nicolas-Luis Durand

Capítulo 2. Calidad del Ambiente Interior

Durand (1923), teórico de la arquitectura francesa del siglo XIX, definía la arquitectura como “el arte de componer y de realizar todos los edificios públicos y privados. Para que un edificio sea conveniente es preciso que sea sólido, salubre y cómodo”.

Podemos decir que “sólido”, se refiere a que no se debe caer; “salubre”, que no debe enfermar; “cómodo”, que debe ser funcional.

Salubre y cómodo confluyen en las condiciones ambientales de un espacio y derivan en lo que en los últimos años ha tomado gran relevancia: *la calidad del ambiente interior* que busca entender la complejidad de los ambientes cerrados y las implicaciones sobre la salud del habitante.

Es así como las condiciones ambientales al interior de los espacios se conocen como *Calidad del Ambiente Interior* (CAI). Con más precisión, la calidad del ambiente interior o *Indoor Environmental Quality* (IEQ), se determina por los niveles de contaminación química, microbiológica y por los valores de los factores físicos, que deben ser adecuados para el usuario y las actividades que desarrolla dentro de los diferentes espacios (UNE, 2008).



Figura 4. Aspectos de la calidad del ambiente interior.

Ahora bien, con relación a lo que menciona Durand: “todos los edificios públicos y privados” concluimos que también debemos considerar a aquellos relegados por la sociedad, es decir, los centros penitenciarios.

De esta manera, si retomamos lo expresado por el Secretario Durazo “...las condiciones mínimas para la reclusión de personas privadas de la libertad”, en el contexto arquitectónico, estas se definen mediante *Las Reglas Mínimas para el Tratamiento de los Reclusos, adoptadas por el Primer Congreso de las Naciones Unidas sobre Prevención del Delito y Tratamiento del Delincuente, celebrado en Ginebra en 1955*, específicamente la Regla Mandela 13:

Regla Mandela 13

Los locales de alojamiento de las personas privadas de la libertad deberán cumplir todas las normas de higiene, particularmente en lo que respecta a las condiciones ambientales, al volumen de aire, superficie mínima, iluminación, calefacción y ventilación” (ONU, 2015) (6).

La razón por la que es tan importante la calidad del ambiente interior en la Regla Mandela 13 para los espacios destinados para las personas privadas de la libertad, así como para cualquier otro tipo de edificación, es por los efectos directos e indirectos que tiene sobre la salud de las personas.

2.1 Factores químicos

Los factores químicos son sustancias como, los productos derivados de la combustión, entre ellos el dióxido de carbono (CO_2), el monóxido de carbono (CO) y otros óxidos de nitrógeno o compuestos de azufre, así como compuestos orgánicos volátiles (COVs), formaldehído ($\text{CH}_2=\text{O}$), Radón (Rn) y hasta malos olores. Estas sustancias pueden ser absorbidas por el organismo, y por lo tanto, tener efectos importantes de salud, desde una simple irritación en los ojos, hasta el cáncer (Ruiz & Peñahora, 2008).

Como ejemplo más próximo, en los centros penitenciarios encontramos el dióxido de carbono (CO_2), ya que su concentración se debe a la poca ventilación que existe en estos lugares.

Quando la celda no está tan llena te puede tocar dormir en los ‘ataúdes o sarcófagos’, que es el espacio chiquito que hay entre el camarote de concreto y el suelo. Como hay apenas unos cuantos centímetros entre tu nariz y el concreto, sientes que te asfixias... (Zavala, 2020).

También los malos olores se hacen presentes en la manera diaria de vivir y de dormir de los internos, ya que en celdas donde hay sanitarios, estos están abiertos, sin privacidad, ni contención, por lo que quedan expuestos a que los olores se disipen por toda la celda.

Mucha gente prefiere dormir en 'la moto', o sea, sentado en la taza del baño de la celda, pero ahí casi no puedes dormir porque te están despertando toda la noche los compañeros que quieren ir al baño (Zavala, 2020).

Actualmente, la mayoría de los centros penitenciarios tienen muchos años de haber sido construidos y se encuentran en mal estado (CICR, 2011). Por lo tanto, las instalaciones, los elementos constructivos, el tipo de pinturas, barnices, pegamentos, aglomerados de madera; así como los productos de limpieza y desinfección, por mencionar algunos ejemplos, pueden tener altos niveles de formaldehído.

Las inadecuadas condiciones en las edificaciones, permiten la presencia de componentes químicos como el radón, que *es un gas radioactivo que proviene de la desintegración natural del uranio de las rocas, el suelo y el agua*. Si existen fisuras, así como puertas y ventanas sin la hermeticidad adecuada, este gas se puede introducir a los espacios interiores. Para la Organización Mundial de la Salud (OMS) la inhalación de radón puede provocar cáncer de pulmón (Ruiz & Peñahora, 2008).

Es probable que los factores químicos sean muy cuestionables debido a la poca inversión en mejoras para las instalaciones e infraestructura de los centros penitenciarios existentes. Aun cuando conozcamos muy poco del tema, tan solo hay que pasar cerca de estos lugares para darse cuenta de la situación que viven al interior.

Si sumamos lo que ahora se ha expuesto, como es el caso de no tener espacio para dormir, o estar junto a un excusado en las horas de descanso, deja en duda si existen condiciones para vivir. ¿Realmente esto permite la reinserción social de una persona? ¿Esto no viola los derechos humanos?

2.2 Factores biológicos

Los factores biológicos son los microorganismos, cultivos celulares y endoparásitos humanos susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad (Universidad de Zaragoza, s.f.). Pueden provocar enfermedades en las personas, hasta contagiar de manera masiva provocando la muerte, como es el caso de las epidemias y pandemias.

Se presentan a través de hongos (mohos y levaduras); alérgenos de origen biológico (excrementos de ácaros, cucarachas, caspa de animales); agentes patógenos (virus y bacterias) (Ruiz & Peñahora, 2008). Los centros penitenciarios tienen, sin lugar a dudas, alérgenos de origen biológico, que afectan de manera directa y constante a los internos.

Eres rifado si te toca dormir en el suelo y debes llevar mucho tiempo en prisión o pagar una lana para que te toque dormir en un camarote de concreto. Eso sí, las chinches no distinguen: donde sea que duermas te pican (Zavala, 2020).

En la actualidad, los agentes patógenos han tomado una fuerza importante. Hasta marzo de 2021, en México se han dado 350 defunciones, 4305 contagios y 20 incidentes de violencia, derivado de la crisis sanitaria provocada por el virus Sars-CoV-2 COVID-19 (Asilegal, 2021).

Da igual si robaste o mataste, da igual si eres inocente o culpable, da igual si eres primodelincuente o reincidente, da igual porque a todos nos va a agarrar la pandemia aquí. Y créeme: es el peor lugar para vivirlo (Zavala, 2020).

Una “chinche” podría parecer algo mínimo, únicamente pican y posiblemente los internos se acostumbran a ello (no por esto está bien que suceda). Pero ¿qué pasa cuando llega una pandemia causada por un virus del que se conoce muy poco? La sociedad no está preparada para ello, y mucho menos, a hacerle frente para proteger a los más vulnerables o *insignificantes*.

2.3 Factores físicos

De las tres condiciones que influyen en la calidad del ambiente interior, los factores físicos son los que tienen una estrecha relación con la arquitectura, puesto que la norma Internacional ISO 17772-1 considera como factores físicos al ambiente térmico, la calidad del aire interior (Fanger, 2006), la humedad, la iluminación y el ruido (ISO, 2017).



Figura 5. Factores físicos de la calidad del ambiente interior.

2.3.1 Ambiente higrotérmico

El ambiente higrotérmico, es la compensación entre la evaporación del cuerpo y las pérdidas o ganancias de calor que tiene el entorno, esto es, un balance entre ambos (UNE, 2008). El ambiente higrotérmico es determinado por variables como; temperatura, humedad, velocidad del aire, actividad física, cantidad y tipo de ropa, tiempo de

permanencia, constitución corporal de las personas que ocupan el edificio –sexo, edad y peso–; entre otros factores del ser humano y el ambiente.

Las características fisiológicas y la manera de adaptarnos a las diversas situaciones y espacios, dificultan la cuantificación de las condiciones térmicas. Sin embargo, se ha establecido que un ambiente térmico adecuado es aceptable, si al menos el 80% de la población se siente cómoda con él (Abdul, 2018).

Debido a la incorporación de los sistemas de acondicionamiento mecánico en los edificios, desde la década de los setenta, se han estudiado los intercambios térmicos del hombre y su entorno *Thermal comfort* de Fanger. Este método se sigue utilizando, con él se puede conocer el *Voto medio previsto* —PMV—, *Porcentaje previsto de insatisfechos* —PPD—.

Esto es, el porcentaje de personas en determinado grupo insatisfechas térmicamente bajo ciertas condiciones ambientales.

La temperatura ambiental tiene relación con la ubicación geográfica —latitud y altitud— en la que se encuentra el edificio. Por ejemplo, la temperatura de comodidad dentro de una habitación, de acuerdo con Givoni para los habitantes de regiones intertropicales es de 22 - 28 °C y con una humedad relativa de 30 - 70%. Asimismo, en dichas regiones se pueden tener 5°C de rango fuera de dicha temperatura para que aún se considere comodidad térmica. Sin embargo, esto dependerá de la oscilación media de la temperatura (Morales J. D., 2019).

Oscilación media de la temperatura del aire (°C)	Zona de confort (°C)
Menos de 13	2.5
13-15	3
16-18	3.5
19-23	4
24-27	4.5
28-32	5
33-37	5.5
38-44	6
45-51	6.5
Más de 51	7

Figura 6. Amplitud de la zona de confort de acuerdo con la oscilación de la temperatura.

Por toda la República Mexicana se sitúan diversos centros penitenciarios. Por su ubicación, hay algunos que día con día enfrentan condiciones de temperatura extremas, como el caso del Centro de Readaptación Social de Mexicali en donde las temperaturas en

verano alcanzan los 50°C (Arellano, 2020), mientras que en invierno por debajo de 1°C (Conagua, s.f.).

Ciertos estudios han encontrado, que las cualidades ambientales térmicas han sido las que más afectan a los habitantes, por encima de los otros factores físicos de la calidad del ambiente interior (Lai, mui, Wong, & Ley, 2009). Sin embargo, por las condiciones que se viven actualmente de pandemia, así como por estudios recientes, es posible que se replantee esta consideración.

La temperatura también influye en la humedad relativa (porcentaje de agua que se encuentra en el aire) y en la calidad del aire. Por ejemplo, el aire caliente tiene la capacidad de contener más humedad que el frío (Pinar, 2017), lo que explica por qué “el aumento de la temperatura puede favorecer la volatilidad de ciertos compuestos químicos y la proliferación de determinados mohos y bacterias” (INSHT, 2015).

También se comprende por qué en temporada invernal se dieron más casos de personas contagiadas por el virus covid-19, ya que, de acuerdo con la jefa de epidemiología de la OMS, Maria Van Kerkhove, “la humedad baja favorece la supervivencia de microorganismos en las superficies, mientras que la muy baja, ayuda a la circulación de las gotas respiratorias, que permanecen más tiempo suspendidas en el aire, pudiendo infectar a más gente.” (Laborda, 2020).

***Efectos fisiológicos y psicológicos del ambiente higrotérmico**

Las temperaturas muy altas llegan a provocar los siguientes efectos en la salud de las personas: agotamiento, calambres, desmayos y sarpullidos. Por su parte el frío produce reducción de la sensibilidad táctil, inmovilidad de las articulaciones, hipotermia y congelación de los miembros (UGT, 2022). La inmovilidad de las articulaciones se presenta con mayor frecuencia entre las personas privadas de la libertad, tanto por la presión que viven día con día, como por la falta de movimiento, pues de manera general menos de la mitad de las personas privadas de la libertad participa en algún tipo de actividad (educativa, deportiva o laboral) (BID, 2019), por lo que espacios fríos pueden empeorar dicha condición.

Si hablamos de calor, se logran soportar temperaturas de hasta 60 grados (con peligro para la vida), pero, depende de la humedad del ambiente, ya que puede derivar en deshidratación. Para el caso del frío, el límite es de -30°C durante 30 minutos, más bajo de eso, y con un periodo mayor, llega la muerte (López, 2020).

Los estudios se han centrado en el calor, probablemente porque para el frío se tiene mayor facilidad de adaptación, mediante el ajuste de la vestimenta. Se tiene conocimiento de que las temperaturas elevadas causan que el rendimiento en actividades complejas disminuya, ya que el calor produce fatiga, cansancio e irritabilidad (Aragonés & Américo, 2010). Las temperaturas elevadas que están presentes en los centros penitenciarios (como es

el caso del de Mexicali), así como el ambiente hostil, hacen comprensible las afectaciones psicológicas entre la población penitenciaria, especialmente la violencia e irritabilidad.

***Criterios de diseño**

Como ya se ha mencionado, con lo que respecta al ambiente térmico, no existe un estándar universal que genere condiciones favorables para todos los usuarios, y en cualquier tipo de espacio. Sin embargo, mediante estrategias en el diseño arquitectónico como el calentamiento o el enfriamiento, se pueden lograr entornos interiores propicios para el desarrollo de las actividades de cualquier persona. El calentamiento se da a través de ganancias directa e indirecta de calor; mientras que el enfriamiento, por medio de la protección solar y la ventilación (Stouhi, 2019).

En cualquiera de los dos casos, las características de la envolvente, el diseño y orientación del edificio, la conductividad térmica de los materiales, los porcentajes de vanos y macizos, por mencionar algunos, son determinantes para el ambiente térmico (Zeevaert, 2020).

Para el análisis del ambiente higrotérmico una herramienta básica muy útil, son las normales climatológicas, las cuales son datos climatológicos tomados durante tres periodos consecutivos de tiempo de diez años. Con ello, se puede tener mayor entendimiento de las condiciones higrotérmicas del lugar actuales o recientes, así como utilizadas para predecir las condiciones que pudieran presentarse en un futuro (OMM, 2017).

En muchos casos, el diseño y planificación de las edificaciones y, en particular, de los centros penitenciarios, no consideran las condiciones climáticas de cada lugar, ni las estrategias de diseño que se puedan requerir. De esta manera, se llega a tener temperaturas muy altas o muy bajas al interior de los espacios.

Resulta extraño el hecho de que se siguen cometiendo errores con respecto al ambiente higrotérmico, aun cuando se tiene mucha información y estudios que pueden evitarlos.

2.3.2 Calidad del aire

La calidad del aire interior se relaciona con la percepción de los usuarios respecto a la ventilación, así como con los niveles de contaminación en el espacio. Los contaminantes pueden ser químicos, biológicos (incluidos los bioefluentes) y físicos (partículas). Muchas veces la sensación que se tiene resulta engañosa, ya que se percibe un aire fresco y limpio, cuando los niveles de dióxido de carbono (CO₂) se encuentran por encima de los permitidos, como encontraron De Giuli et al (2014) en un monitoreo que realizaron en una escuela en Italia. El límite máximo de CO₂ para ambientes saludables es de 1000 ppm de dicha sustancia, después de ese número resulta peligroso, de acuerdo con la OMS (Zafra & Salas, 2021).

La concentración de los contaminantes en el ambiente interior de un edificio depende de factores como: velocidad de emisión de los contaminantes desde las fuentes interiores, velocidad de entrada de los contaminantes procedentes de fuentes exteriores, eficacia de los sistemas de depuración y los sistemas de control de la calidad del aire en edificios.

La calidad del aire no solo desempeña un papel importante en el bienestar humano, sino también en los procesos biológicos, químicos y físicos. Muchos gases, vapores y polvos –incluso si son derivados de procesos naturales– pueden contribuir a la reducción de la calidad del aire (Abdul, 2018).

*** Efectos fisiológicos y psicológicos**

Se dice que las enfermedades respiratorias como la bronquitis y la tuberculosis se presentan con mayor frecuencia entre las personas privadas de la libertad que en el resto de la población, y esto se debe a la sobrepoblación y a la ventilación inadecuada, sin omitir el poco tiempo de exposición a la luz solar (Iglesias, 2020). Además, de acuerdo con estudios realizados por Evans y Jacobs se encontró que una mala calidad del aire puede derivar en que se reduzcan los sentimientos de atracción interpersonal. También en el caso particular de las personas no fumadoras, el humo del tabaco favorece agresión, ansiedad, irritabilidad y fatiga (Aragónés & Amérigo, 2010). Asimismo, en cuanto al aspecto sensorial del olfato, todos los centros penitenciarios tienen un aroma característico a limpiador de pisos, y, por su condición de espacios sumamente cerrados se produce en los habitantes algo que se denomina “pobreza olfativa” (Valverde, 1997).

***Criterios de diseño**

La calidad del aire interior depende, por un lado, del aire exterior del edificio, y por otro de los contaminantes tanto interiores como exteriores (Abdul, 2018). El aire interior se puede producir de tres formas –sistemas pasivos, activos o un híbrido de ambos–.

Dependiendo de la ubicación en la que se encuentre el edificio, se deberá considerar si este debe ser impermeable o permitir el libre acceso del aire exterior. Claro está que por cuestiones de seguridad los centros penitenciarios privilegian espacios impermeables. Sin embargo, tener un espacio completamente hermético, puede provocar la contención de contaminantes al interior de la edificación; mientras que, en un espacio totalmente abierto al exterior, es complicado el control de la ventilación natural, la contaminación del aire y los cambios de temperatura, que como ya se había visto, también afectan la calidad del aire.

Por otro lado, los sistemas activos como el aire acondicionado requieren de cambios de aire frecuentes y un mantenimiento constante y correcto a los equipos para suministrar un aire limpio, aunque dicha tecnología difícilmente es considerada en las edificaciones en

México, y menos probable que se use en los centros penitenciarios. Por lo tanto, las consideraciones mínimas que se deben tener para una calidad del aire interior adecuada son: la ventilación cruzada y extracción. Para ello, la selección de los materiales, el porcentaje de aperturas de ventana, así como las actividades que se realizan y el número de usuarios, serán puntos clave para determinar cómo se ventilará el lugar. También el uso de vegetación al interior, ayuda a la filtración del dióxido de carbono en el ambiente (Schires, 2019).

Una de las funciones de la ventilación al interior de los espacios es evacuar el dióxido de carbono producido por la respiración y la humedad resultantes de la transpiración. Una buena circulación de aire en las celdas es indispensable para que los internos puedan respirar normalmente y evitar los olores corporales (CICR, 2011). Como podemos ver, la calidad del aire, tiene una estrecha relación con los factores químicos, en específico, con el CO₂ emitido por las personas.

Con respecto a los centros penitenciarios, esto cobra mayor relevancia debido a los problemas de sobrepoblación y hacinamiento que, como ya se ha mencionado, existen en estos espacios. Del mismo modo el uso inadecuado de los espacios puede modificar la calidad del ambiente interior. Por ejemplo, la falta de áreas ha provocado que los internos tiendan la ropa mojada en las mismas celdas repercutiendo en la calidad del aire de manera importante. Esto nos lleva a suponer que, por esta razón, la calidad del aire es una condición que debe tener mayor cuidado y atención en este tipo de edificaciones.

2.3.3 Iluminación

De acuerdo con Ncube y Riffat (2012):

La calidad de la iluminación relaciona la satisfacción de los ocupantes con la iluminancia, la uniformidad de la iluminación, la distribución de la luminancia, las características del color (representación y apariencia), los factores de iluminación diurna, la reflectancia de la superficie de la habitación, el deslumbramiento y las tasas de parpadeo.

Además, indican que dichos factores deberán ser los adecuados al tipo de actividades que se desarrollan dentro del edificio. Para ello se deben conocer “los principales aspectos de la iluminación que son el nivel de luz (intensidad o brillo), el contraste y el deslumbramiento” (Abdul, 2018).

Por ejemplo, los factores de luz natural recomendados por Szokolay (Guadarrama, 2021) de acuerdo con el tipo de espacio y las actividades que se desarrollan son:

Tipo de edificio	Tipo de espacio	FLN
Residencias y hoteles	Salas	1% en al menos 8m ² y en la mitad de la profundidad de la habitación
	Habitaciones	0.5% en al menos 6m ² y en la mitad de la profundidad de la habitación.
	Cocinas	2% en al menos 6m ² y en la mitad de la profundidad de la habitación.
Oficinas	Oficinas en general	2%
	Espacios de trabajo	4%
Escuelas, universidades	Aulas y salas de clase	2%
	Salones de arte	4%
	Laboratorios (sobre las mesas)	3%
	Cuartos para personal y comunes	1%
Hospitales	Recepción y salas de espera	2%
	Cuartos	1%
	Farmacias	3%
Espacios para cirugía	Recepción y salas de espera	2%
	Cirugía	2%
	Laboratorios	3%
Centros deportivos	Aula deportiva	2%
	Alberca, superficie de alberca	2%
	Alberca, alrededores de la alberca	1%
Aeropuertos y terminales	Recepción, espacios de servicio	2%
	Áreas de circulación y salas	1%
Aulas de reunión y auditorios	Auditorio y foyer (eventualmente)	1%
	Corredores	0.5%
	Escaleras	1%
Templos religiosos	Nave principal	1%
	Púlpito y área del atril y coro	1.50%
	Altar y tabla de comunión	3-6%
	Sacristías	2%
Bibliotecas	Libreros (+luz eléctrica)	1%
	Áreas de lectura	1%
Museos y galerías	En general (considerando requerimientos especiales)	1%

Figura 7. Factor de luz de día de acuerdo con el espacio y tipo de actividades.

*** Efectos fisiológicos y psicológicos**

La deficiencia lumínica puede provocar, trastornos oculares, dolores de cabeza, falta de energía y agotamiento, falta de concentración y de productividad, baja atención y desánimo (Soto, 2015). Para las personas privadas de la libertad los dolores de cabeza son frecuentes debido a lo que Valverde (1997) puntualizó como “ceguera de prisión” que se da por las constantes limitaciones de la configuración arquitectónica, ya que difícilmente se puede ver a distancias lejanas o tener puntos de fuga, aunado a la cerrada paleta de colores de gris y café. La imagen personal también se ve afectada por confundir los límites del cuerpo y el entorno.

Otro hecho importante que también afecta al personal en general, son los cambios bruscos de iluminación interior-exterior, ya que al interior generalmente los espacios son oscuros (ya sea por la iluminación natural o artificial), lo que obliga a toda la población a utilizar lentes para el sol cuando se encuentran al exterior. Esta misma ceguera provoca que poco a poco se pierda la visión, y por lo tanto el uso de lentes de visión se vuelve necesario.

Asimismo, es importante destacar que la luz natural tiene efectos en lo que se denomina ciclo circadiano, en el cual se sincronizan ciertas neuronas y que se refleja en la temperatura del cuerpo, los niveles de cortisol o melatonina y el de sueño-vigilia (Díaz, 2021). Así como la mala calidad del aire, la falta de iluminación produce trastornos afectivo emocionales que dan lugar a depresiones frecuentes y de manera anual en la misma época año estación (Valeriano, 2010).

***Criterios de diseño**

La luz tiene efectos importantes en nosotros, sobre todo en lo que a luz natural se refiere. Nuestra salud física, mental y emocional puede ser afectada significativamente cuando esta falta. Es por ello que se debe hacer un mayor uso de la iluminación natural al interior de los espacios, durante las horas de sol, mientras que, por la noche, utilizar la luz artificial. Para lograrlo, durante el diseño de las edificaciones, se debe considerar toda la captación de luz natural, la orientación del edificio, los porcentajes de vanos y las características de los espacios.

Además, es importante el uso de sistemas pasivos (partesoles, celosías y volados) en las fachadas que por su ubicación lo requieran, ya sea de manera horizontal —orientación norte y sur— o vertical —este y oeste—(depende de la zona geográfica en la que se encuentre el edificio). De esta manera, se permitirá la luz indirecta al interior de los espacios. El uso de domos permite el acceso de luz que provee el sol, sin olvidar que el tipo de cristales, así como el color y propiedades de los materiales, también influyen en el aprovechamiento de la luz natural, y el requerimiento de la luz artificial (AIDICO, 2009).

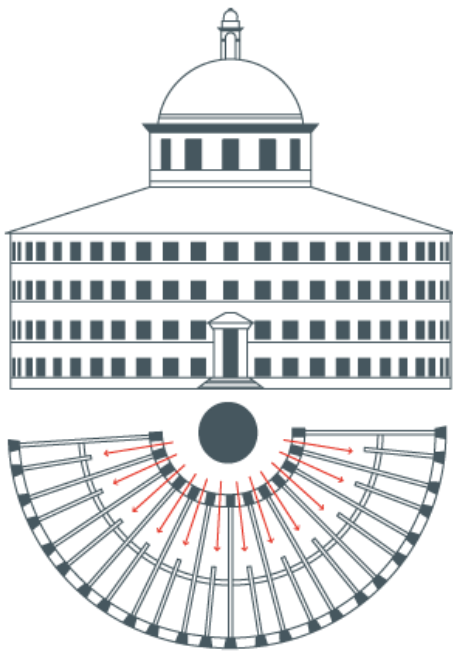


Figura 8. Arquitectura panóptica ideada por Jeremy Bentham. Una torre de vigilancia central con vista de 360°. Elaboración propia

Recordemos que los privados de la libertad se encuentran confinados a vivir reclusos por un tiempo prolongado. Las celdas en las que habitan, pueden tener cierta cantidad de luz, que dependerá no solo de las dimensiones de la ventana, sino también de la orientación en la que se ubique la celda. Varios de estos centros de internamiento, tienen una forma panóptica (Sweet, 2021), lo que da lugar a muchas orientaciones. De esta manera, es probable que algunas celdas se provean de luz natural y otras no, lo que limita las condiciones de contacto con los rayos solares.

Si bien es cierto que existen áreas al aire libre para realizar algún tipo de ejercicio físico o que permiten al interno su esparcimiento al exterior, se tendría que valorar si el tiempo considerado de por lo menos una hora al día (ONU, 2015) es suficiente.

2.3.4 Sonido

La OMS define el ruido como sonido no deseado cuyas consecuencias son molestas para la población, con riesgo para su salud física y mental, por lo tanto, se considera como un sonido molesto, desagradable y perturbador, así como un tema de salud pública (SEORL, s.f.). Sin embargo, más allá de hablar de ruido, debemos hablar de sonido —perturbación de presión—, puesto que no todo lo que escuchamos propiamente es ruido, esto dependerá de cómo se manifieste la intensidad, frecuencia y timbre (Martínez & Ceña, 2006), sin olvidar lo que puede representar para la persona dicho ambiente sonoro (Aragonés & Amérigo, 2010). Es por esta razón que el término que se utilizará en lo consecuente al presente tema de investigación será *sonido*.

*Efectos fisiológicos y psicológicos

Los problemas de oído también se hacen presentes en los centros penitenciarios por los altos niveles de ruido producto del hacinamiento (CICR, 2011), los espacios cerrados y la dureza de los materiales que mantienen el sonido de manera prolongada (reverberación), lo que provoca un “rumor sordo y constante” sin contraste de sonidos (Valverde, 1997).

El ruido no solo afecta el oído, también altera el sueño, produce hipertensión arterial, reduce el campo de visión y da lugar a irritabilidad nerviosa, lo que resulta en fatiga y depresión (Aragonés & Amérigo, 2010), que para las personas privadas de la libertad no es ajeno por la condición en la que viven.

***Criterio de diseño**

Los edificios están diseñados según estándares de ruido basados en su uso. En el caso de los centros penitenciarios, existen diversas actividades (como antes se había mencionado), por lo que en este tipo de edificaciones se tienen diferentes especificaciones para cada uno de los espacios.

La acústica, puede verse afectada por factores como la geometría y el volumen de un espacio, así como por los sonidos que se generan tanto al interior —absorción, transmisión y reflexión del sonido— como al exterior (Martínez & Ceña, 2006). Por ello, en el diseño de los espacios, se deben considerar las características, condiciones y requerimientos para que se eviten las emisiones de ruido, y se logre un aislamiento acústico.

La ubicación de las instalaciones, también será importante, debido a las emisiones de ruido que generan, y que pueden afectar otros espacios.

El tener un aislamiento de fuentes de ruido tanto internas como externas del edificio, aminora el estrés en los usuarios, a la vez que permite la concentración y el descanso adecuados. Un aislante que se ha utilizado por siglos, que últimamente ha tomado gran fuerza, son las envolventes naturadas, es decir, colocar vegetación —de preferencia endémica de la región— en las azoteas, con las que se puede regular tanto la acústica como la temperatura (García I. , 2011).

2.4 Condiciones de habitabilidad en los centros penitenciarios

En 1881 Elias Heyman, primer profesor de higiene en Suecia, escribió el libro *El aire interior de nuestras casas*, en el que planteaba los problemas de salud en espacios que no cuentan con una suficiente y correcta ventilación. El aire contaminado, las corrientes de aire y ambientes húmedos o secos, podrían producir náuseas, dolor de cabeza, reumatismo, resfriado común, problemas en el sistema respiratorio y resequedad en la garganta, entre otros.

En el caso de los centros penitenciarios, esto toma gran relevancia, debido a que el mismo Heyman recomendó, que las viviendas se mantuvieran secas, limpias y bien ventiladas, evitando el *hacinamiento* (Martínez & Ceña, 2006). El hacinamiento está determinado por el número de personas en una misma habitación, y , de acuerdo con el Índice de Calidad Global de la Vivienda, se identifica por hacinamiento nulo, medio y crítico (Redatam, s.f.). Esta situación es una constante en la mayoría de los centros penitenciarios

del país, la cual genera condiciones ambientales no adecuadas, de acuerdo con la Regla Mandela 13.

La sobrepoblación que se ha planteado como una constante que existe y seguirá existiendo, encamina a los centros penitenciarios al hacinamiento, y, por lo tanto, a una mala calidad del aire, humedad, falta de iluminación, temperaturas altas o muy bajas, generación de virus y bacterias (Martínez & Ceña, 2006), lo que provoca en los internos (así como a los custodios, personal administrativo, operativo y visitas) problemas de salud importantes como el Sars-CoV-2 COVID-19.

La CNDH, a través de su tercera Visitaduría General, informó las medidas generales adoptadas para proteger a las personas privadas de la libertad, servidores públicos y visitantes en los diversos estados de la República. Estas medidas se han enfocado principalmente en, colocación de información sobre COVID-19, filtro de detección de síntomas, distribución de gel antibacterial, sanitización de calzado, uso de cubrebocas, pláticas continuas respecto al COVID-19 (a personal que labora y a las personas privadas de la libertad), sanitización de productos y/o alimentos que ingresan al establecimiento, lavado frecuente de estancias, pasillos, áreas generales y gobierno, supervisión de buena higiene en las personas privadas de la libertad, restricción de visita familiar e íntima y adecuación de espacios para recibir nuevos ingresos y aislar a personas sospechosas de COVID-19 para brindarles atención médica. Sin embargo, no se cumple con la medida sanitaria de *sana distancia* derivado de sobrepoblación y hacinamiento en algunos espacios (CNDH, 2020).

La sana distancia es un término reciente para el que nadie estaba preparado, especialmente los centros penitenciarios, por lo menos en cuanto a espacios arquitectónicos. Así lo expresa una persona privada de la libertad en una entrevista:

En cada celda hay ocho camarotes. Aunque la prisión no tuviera sobrepoblación y cada reo durmiera en un camarote seguiría sin poder haber sana distancia entre nosotros porque las celdas miden en promedio 4×4 metros (Zavala, 2020).

Existen dos realidades ante esta situación. Por un lado, la sobrepoblación va en aumento; y por el otro, la necesidad de proporcionar una calidad del ambiente interior para aquellos lugares donde viven las personas privadas de la libertad.

Aun cuando se menciona la Regla Mandela 13, se desconoce la calidad del ambiente interior que guardan los centros penitenciarios y cómo deben ser las condiciones ambientales de estos espacios.

2.5 Algunas consideraciones de la neuroarquitectura y ambientes restauradores

Podemos conjuntar los factores físicos de la calidad del ambiente interior en el *espacio perceptivo*, ya que Ernest Cassirer (1967) lo define como la experiencia sensible, óptica, táctil, acústica y kinestésica. Es por ello que, para el estudio y análisis del ambiente higrotérmico, calidad del aire, iluminación y sonido, también se integrará la psicología ambiental. Desde esta perspectiva se pone como actor principal al usuario para conocer hasta qué punto cada elemento de la experiencia —cada aspecto físico— forma parte de su percepción del espacio, y cómo es su interacción y desarrollo en el medio físico (Aragonés & Américo, 2010).

Gracias al trabajo interdisciplinario se ha vislumbrado la gran influencia que tiene la arquitectura en los procesos cognitivos y anímicos, en los vínculos sociales, y en las capacidades humanas para la resolución de problemas. De esta manera, un término que ha tomado gran fuerza en los últimos años para comprender la unión de la psicología —o más propiamente la neurociencia— y la arquitectura es el acuñado por los años 50, denominado *neuroarquitectura*. El primer indicio arquitectónico que representa dicho término fue el Instituto Salk en California, obra del arquitecto Louis Kahn. Dicho Instituto mostró al neurocientífico Fred Gage, que el diseño de los espacios “cambia nuestra conducta y modifica nuestro cerebro”. A raíz de esto, la neuroarquitectura, se define como:

“
la neuroarquitectura es:
El entorno construido que ha sido diseñado con principios derivados de las Neurociencias, ayudando de esta forma a crear espacios que favorezcan la memoria, la mejora de las habilidades cognitivas y la estimulación de la mente, evitando al mismo tiempo el estrés (WorktechAcademy, 2021).
”

En el capítulo 1, se mencionó el término ambientes restauradores, que forman parte precisamente de la neuroarquitectura, ya que son aquellos espacios que cuentan con cualidades para la restauración tanto cognitiva como fisiológica de los individuos (Martínez & Montero, 2010). Esto ha sido importante principalmente en entornos hospitalarios, en los que se ha encontrado que el ambiente físico es un factor determinante en la recuperación de los pacientes, mediante diversos estímulos; estructurales —iluminación, calidad del entorno y privacidad—; perceptivos —aspecto interior, tratamiento gráfico y color—; funcionales —

confort en el uso de los objetos (mobiliario, equipamiento) socialización y juego— (Carmona & Valero, 2015).

La ubicación del cuarto de recuperación, la iluminación natural y artificial de la que está provista, los colores de los muros, pisos y plafones, y el aspecto ergonómico del mobiliario, por mencionar algunos, son elementos que, al ser bien analizados y conceptualizados, pueden lograr espacios interiores que sean parte de la medicina del paciente, como lo fue el sanatorio de Paimio en Finlandia, por Alvar Alto. De esta manera, se demuestra la importancia y gran responsabilidad que tiene el arquitecto en su *lápiz*, como un médico en su bisturí.

En el ambiente penitenciario, algunos países han *repensando* estos lugares como ambientes restauradores. Es decir, los arquitectos han dispuesto de elementos necesarios para la vida de las personas privadas de la libertad en el diseño de nuevos centros penitenciarios. Como ejemplo, el centro penitenciario Ny Anstalt en Nuuk, Groenlandia, en el que los arquitectos han buscado “un equilibrio entre el castigo y la rehabilitación”, con lo que se deje a un lado la “violencia física y psicológica.” El complejo se encuentra inmerso en la naturaleza, donde se viven las estaciones del año, tanto el gran cielo azul, como la densa nieve (Furuto, 2013). Muchas investigaciones han demostrado la preferencia que las personas tienen hacia ambientes donde existan elementos de la naturaleza como vegetación y agua (Martínez & Montero, 2010). Es decir, las vistas, iluminación, ventilación y los ambientes cambiantes forman parte importante del proceso de rehabilitación de los internos, sin olvidar al personal que también es beneficiado en el proyecto del centro penitenciario en Nuuk. El no tener espacios monótonos es importante ya que Jewkes (2018) menciona que “Un entorno construido sin variabilidad puede ser igualmente dañino, especialmente para aquellos que han experimentado un trauma”.

O como lo conceptualizó Josef Hohensinn al proveer de áreas verdes, iluminación y ventilación natural, celdas individuales, color en los muros, amplios espacios de recreación en la prisión de Leoben, Austria, dejando a un lado muros de concreto, y abriendo paso a unos grandes ventanales, pues pensó que:

Josef Hohensinn:

La privación de libertad es pena suficiente. A partir de ahí, es importante que a través de la calidad de la construcción no se arranque a las personas de la vida normal, puesto que con ello se logra también una mejor reinserción social. (Hohensinn-architektur, s.f.) (STGO, 2009)

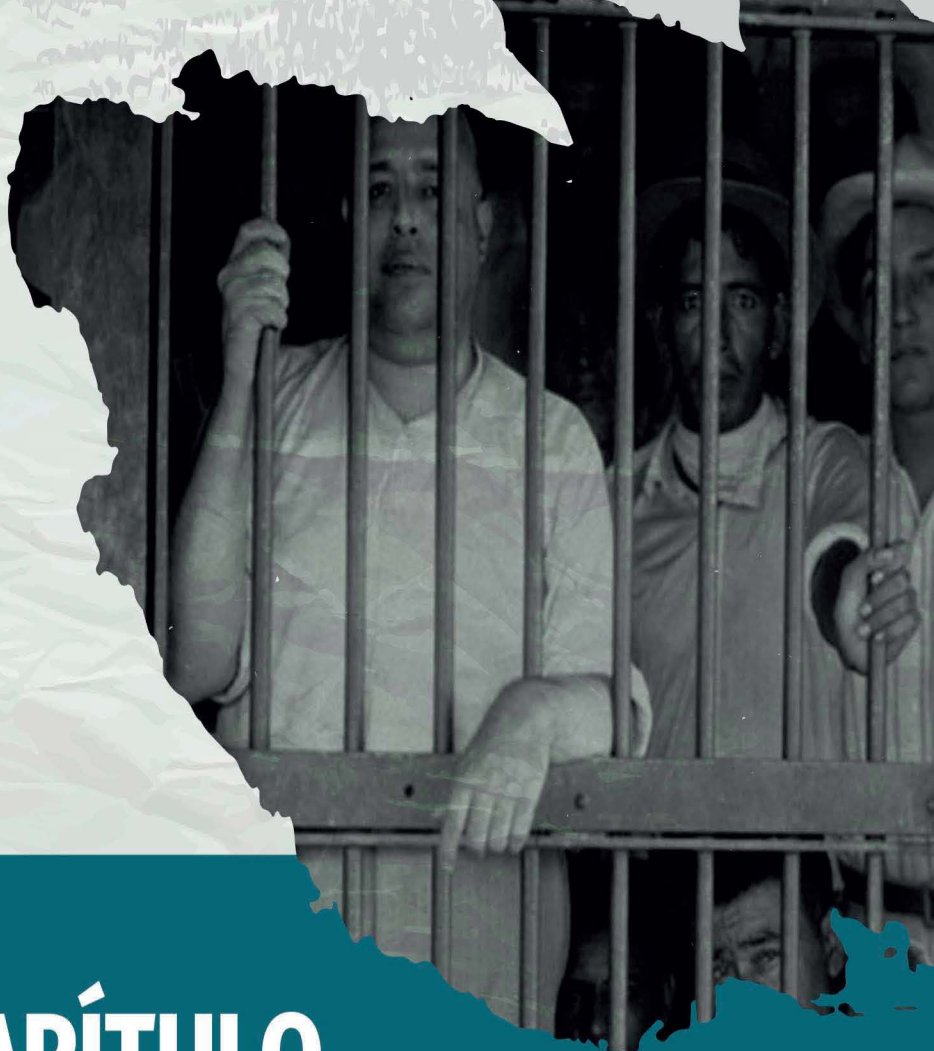
Conclusiones

La literatura antes presentada, nos muestra que, la calidad del ambiente interior tiene muchas características por analizar. Para que un espacio sea mínimamente habitable se deben considerar muchos factores como la temperatura y humedad relativa del aire al interior, la cantidad de personas satisfechas, la calidad del aire producto del dióxido de carbono emitido por las personas y la misma edificación, la iluminación adecuada para que no existan deslumbramientos o falta de luz, la luz del sol que proporciona mejoras en la salud, las consideraciones acústicas (además del ruido), entre otras.

Asimismo, se debe tener presente la influencia que la arquitectura genera en el usuario, al grado de modificar el estado anímico de una persona, ya sea de manera positiva o negativa, y con ello, entender la responsabilidad que los arquitectos tenemos al momento de proyectar un espacio Hemos de preguntarnos ¿Qué es lo que queremos transmitir? ¿Qué condiciones ambientales proporcionaremos a los que vivan/habiten allí?

El momento en el que vivimos es crucial. A partir del virus Sars-CoV-2 COVID-19, la importancia del análisis de la calidad del ambiente interior deberá ser esencial en todo proyecto arquitectónico y edificios existentes. En gran medida se debe retomar lo que antes era importante, el diseño de espacios a partir del movimiento del sol, las características climáticas del lugar, las actividades que se desarrollan, la psicología ambiental, con los que se provean de condiciones de habitabilidad para los usuarios.

Claro está que muchas edificaciones nuevas han partido desde estas consideraciones y han logrado propuestas interesantes. Sin embargo, en el caso de los centros penitenciarios en México, dichos elementos no se han integrado a su diseño arquitectónico. Si bien es cierto, que en este documento de tesis se ha hecho una revisión de algunos modelos penitenciarios que sí consideran aspectos en cuanto a calidad del ambiente interior, así como beneficios psicológicos para la población penitenciaria, se toman con reserva y en sentido crítico, ya que como sabemos las características del sistema penitenciario mexicano no pueden homologarse a la experiencia de países de primer mundo como es el caso de Groenlandia o Austria.



CAPÍTULO 3

Instrumentos de evaluación de la calidad del ambiente interior

“Rara vez se ha discutido el papel del arquitecto individual en el diseño del castigo; no solo en el sentido de crear físicamente lugares y espacios de custodia, sino también en la medida en que el arquitecto, consciente o inconscientemente, produce y reproduce filosofías y prácticas punitivas y/o nocivas.”

Yvonne Jewkes



Capítulo 3. Instrumentos de evaluación de la calidad del ambiente interior

Desde hace varios años, surgieron diversos organismos de certificación para las edificaciones que fungieran como evaluadores para el análisis del ciclo de vida, así como del desempeño del edificio, en lo que se refiere a buenas prácticas de sustentabilidad y eficiencia energética que respeten el medio ambiente. De esta manera, mediante una lista de verificación se dan puntuaciones de acuerdo con el cumplimiento de los estándares técnicos solicitados por la certificadora (Vallejo Aguirre, 2014).

No obstante, algunas de estas certificaciones además de proporcionar una calificación para las edificaciones por su eficiencia energética, también emiten puntuaciones con respecto a las condiciones interiores de los espacios como la temperatura, humedad, calidad del aire, iluminación y sonido.

Por otro lado, existen algunas normas que especifican los métodos, criterios y parámetros para medir, evaluar e inspeccionar de manera conjunta cada aspecto de la calidad del ambiente interior, como es el caso de la norma ISO 17772, lo que permite tener un análisis mejor y más detallado del mismo.

Finalmente, se han elaborado diversos instrumentos que evalúan la calidad del ambiente interior de manera cualitativa y/o cuantitativa, ya sea por simulación, en un prototipo o con equipos de medición.

3.1 Normas específicas y equipos de medición

Si bien es cierto que el término de calidad del ambiente interior tiene poco tiempo de haber sido definido, lo cierto es que, de manera independiente, ya existían normas para regular cada aspecto físico del entorno construido. Además, existen equipos de medición que permiten obtener datos reales de cada uno de ellos, que con el paso del tiempo se han hecho mucho más sofisticados, al grado de tener un solo aparato que mida varias cualidades al mismo tiempo.

3.1.1 Ambiente higrotérmico

***Normas**

Existen ciertas normas que especifican las condiciones que deben tener los espacios en el caso del ambiente térmico.

ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana. Especifica las condiciones térmicas que deben tener los edificios desde su diseño,

funcionamiento y operación. Para su cálculo, esta norma proporciona tres tipos de métodos –gráfico, analítico, por la velocidad del aire y por sistemas pasivos– (ASHRAE, 2007).

ISO 7730:2005 / UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del entorno térmico: determinación e interpretación analítica del confort térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de confort térmico local. Con los métodos propuestos por esta norma, se puede predecir el grado de satisfacción e insatisfacción térmica de cualquier persona en espacios interiores nuevos y existentes. Se exceptúan las personas con alguna discapacidad física, ya que para ellos se debe precisar lo indicado en la norma *ISO/TS 14415:2005. Ergonomía del ambiente térmico.* Aplicación de normas internacionales a personas con requisitos especiales. También, es importante considerar las diferencias culturales y de ubicación geográfica para utilizar este método.

Para la aplicación de esta norma, también se utilizan, ISO 13731 Ergonomía del ambiente térmico. Vocabulario y símbolos; ISO/TS 13732-2 Ergonomía del ambiente térmico. Métodos para la evaluación de las respuestas humanas al contacto con superficies. Parte 2: Contacto humano con superficies a temperatura moderada (ISO 7730, 2005).

NMX-C-7730-ONNCCE-2018 Industria de la construcción-ergonomía del ambiente térmico-determinación analítica e interpretación del confort térmico mediante el cálculo de los índices VME y PEI y los criterios de confort térmico local. Presenta métodos para el pronóstico de la sensación térmica general y del grado de incomodidad (insatisfacción térmica) de las personas expuestas a ambientes térmicos moderados. Facilita la determinación analítica y la interpretación del confort térmico mediante el cálculo de los índices VME (Voto Medio Estimado) y PEI (Porcentaje Estimado de Insatisfechos) y de los criterios de confort térmico local, indicando las condiciones ambientales que se consideran aceptables para el confort térmico general, así como aquellas que dan lugar a incomodidad local. Esta Norma Mexicana es una adopción idéntica de la Norma Internacional ISO 7730:2005 (DOF, 2019).

***Equipos de medición**



El ambiente térmico al interior de un espacio, está estrechamente ligado con los cambios de temperatura al exterior, esto, debido a las condiciones climáticas. Por esta razón, se vuelve imprescindible su medición continua, mediante un termómetro de temperatura ambiente. Este tipo de termómetros se dividen de acuerdo con su entorno –interior y exterior– y por su tecnología –analógico o digital– (GESA, 2020).

3.1.2 Calidad del aire

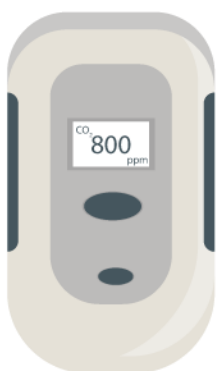
*Normas

Las normas que proporcionan los límites y condiciones de la calidad del aire son las siguientes.

ANSI/ASHRAE 62.1-2016. Ventilación para una calidad aceptable de aire interior. Mediante este estándar, se especifican rangos de ventilación y algunas otras medidas para que exista una calidad del aire interior aceptable en edificios nuevos, existentes y remodelados, tanto por la percepción como para la salud de las personas (ASHRAE, 2007).

Norma UNE 171330 Parte 1 Diagnóstico de la calidad ambiental en interiores; Parte 2 Inspección de calidad ambiental en interiores y Parte 3 Sistema de gestión de la calidad ambiental en interiores. Esta norma se divide en tres partes, en las que se presenta un tipo de metodología, mediante la cual, se logran identificar las condiciones, los parámetros que se deben analizar y un sistema de gestión para el control de la calidad ambiental al interior de las edificaciones (UNE, 2008).

*Equipos de medición



Últimamente, la medición de la calidad del aire resulta sumamente importante. Mantener los espacios ventilados y limpios es una condición primordial para evitar la propagación del Sars-CoV-2 COVID-19.

De esta manera, el uso de un monitor de calidad del aire permite analizar la composición de la calidad del aire y de las partículas en suspensión que este contiene como el CO₂, CH₂O, TVOC y polvo fino a través del número de partículas para diferentes tamaños de partículas, por ejemplo, PM 1; PM 2,5; PM10 (PCE, s.f.).

3.1.3 Iluminación

*Normas

UNE –EN 12464-1: 2012. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: lugares de trabajo en interiores. UNE –EN 12464-2: 2012. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 2: lugares de trabajo en exteriores. Esta norma, indica las características de la iluminación tanto en interiores como en exteriores en los ambientes de trabajo, con el propósito de obtener un rendimiento visual óptimo en los usuarios (AENOR, 2011).

NOM-025-STPS-2008. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. El objetivo de esta norma mexicana, es establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de trabajo, es decir la cantidad de iluminación adecuada (que provea de seguridad y salud) para cada actividad visual que desempeñen los trabajadores (DOF, 2008).



***Equipos de medición**

Para conocer los niveles de luz – lúmenes– e intensidad lumínica – lúmenes por metro cuadrado o lux–se utiliza un luxómetro (Luxometro.net, s.f.).

3.1.4 Sonido

***Normas**

ISO 1996-1: 2016 / UNE-ISO 1996-1:2020 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación; ISO 1996-2: 2017 / UNE-ISO 1996-2:2020 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de presión sonora. Ambas partes de la norma definen los términos involucrados en la acústica, las fuentes sonoras que producen ruido, y muestra un método para su evaluación que determina los niveles de presión acústica (ISO 1996-2, 2017).

NOM-011-STPS-2001 Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Indica las características, niveles y tiempos máximos permisibles de exposición por jornada de trabajo, que no alteren la salud de los trabajadores (DOF, 2001).

NOM-081-SEMARNAT-1994. Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición (DOF, 2013).



***Equipos de medición**

El sonómetro es un aparato para medir la presión sonora (sonido) que existe en el lugar y momento donde se hace la medición (tecnometrica, 2021).

3.2 Norma ISO 17772-1: 2017 / ISO 17772-2: 2018

Con el entendimiento de la importancia de analizar todos los factores físicos del espacio construido, en 2017 la Organización de Normalización Internacional ISO, estableció en un solo documento dividido en dos partes la definición de los parámetros de los factores

físicos, así como un método para conocer estos factores, mediante cálculos, mediciones y encuestas.

ISO 17772-1: 2017. Rendimiento energético de los edificios - Calidad ambiental interior - Parte 1: Parámetros de entrada medioambientales interiores para el diseño y evaluación del rendimiento energético de los edificios. Especifica las características que deben tener los factores físicos de los ambientes interiores, como son, ambiente higrotérmico, la calidad del aire interior, la iluminación y la acústica y cómo utilizar estos parámetros (ISO, 2017).

Esta norma, divide a la calidad del ambiente interior en cuatro categorías, de acuerdo con el nivel de expectativa que pueden tener los usuarios con respecto al espacio.

Categoría	Nivel de expectativa
CAI_I	Alto
CAI_{II}	Medio
CAI_{III}	Moderado
CAI_{IV}	Bajo

Figura 9. Categorías de la calidad del ambiente interior según la norma ISO 17772-1.

Asimismo, en 2018, se divulgó el reporte técnico *ISO / TR 17772-2: 2018. Rendimiento energético de los edificios. Procedimientos generales de evaluación del rendimiento energético. Parte 2: Directriz para el uso de parámetros de entrada ambientales en interiores para el diseño y evaluación del rendimiento energético de los edificios* (ISO, 2018).

- Especifica métodos para la evaluación a largo plazo del ambiente interior obtenidos como resultado de cálculos o mediciones;
- Especifica los criterios para las mediciones que pueden utilizarse si es necesario para medir el cumplimiento mediante inspección;
- Identifica los parámetros que se utilizarán para monitorear y mostrar el ambiente interior en edificios existentes.

La norma presentó las categorías y el nivel de expectativa para la calidad del ambiente interior mientras que el reporte técnico especifica las características de cada una de las categorías, como se presenta en la siguiente tabla:

Categoría	Nivel de expectativa	Explicación
CAI _I	Alto	Se recomienda su uso para cierto tipo de usuarios —niños, ancianos, personas con discapacidad—.
CAI _{II}	Medio	Nivel considerado como normal que se utiliza para el diseño y la operación
CAI _{III}	Moderado	Proporciona condiciones aceptables. Sin embargo, se corre el riesgo de una reducción en el rendimiento de los usuarios.
CAI _{IV}	Bajo	Solo debe utilizarse durante un periodo breve del año o en espacios con muy poco tiempo de ocupación. Este nivel no representa un riesgo para la salud, pero, puede disminuir la comodidad.

Figura 10. Categorías y sus características de la calidad del ambiente interior según la norma ISO 17772-2.

La norma presenta los criterios a considerar para cada uno de los factores físicos de la calidad del ambiente interior, como a continuación se presenta.

3.2.1 Ambiente térmico

Para el análisis del ambiente térmico, se pueden utilizar como criterio los parámetros térmicos como: ropa, actividad, temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad. Los niveles de ropa y/o los niveles de actividad si no están dentro de ciertos límites, modifican la temperatura operativa. Sin embargo, se puede definir la temperatura interior de diseño con la temperatura media del aire.

Las corrientes de aire, la asimetría de la temperatura radiante, diferencias verticales de temperatura del aire y temperaturas de la superficie del piso, son considerados como malestar térmico de acuerdo con la ISO 17772-1, y, por lo tanto, deben tomarse en cuenta durante el diseño tanto de las edificaciones como de los sistemas de calefacción y enfriamiento.

En las estaciones del año —verano y temporadas intermedias de la primavera y otoño— se pueden aplicar los criterios adaptativos. Aquí, los límites permitidos en cuestión de la temperatura más alta, o la más baja cambian junto con la temperatura media exterior. Lo anterior solo aplica cuando la temperatura media externa está entre 10°C y 30°C. Sin embargo, también es importante que los usuarios tengan tasas metabólicas que oscilen entre 1.0 met hasta 1.3 met; que exista libertad de que puedan adaptar su ropa, de acuerdo con las condiciones térmicas internas y/o externas, con un rango de 0.4 clo a 1.0 clo; y, finalmente,

que ellos puedan regular y ajustar las condiciones térmicas mediante la apertura y el cierre de ventanas operables, o fachadas especiales con abertura hacia el exterior. Si no se logran límites adaptativos de temperatura superiores por medios pasivos, se debe optar por refrigeración por medios mecánicos.

Cuando se utiliza el método adaptativo, se vuelve innecesario para los cálculos estimar los valores de la ropa, así como evaluar por separado: malestar térmico local, aislamiento de la ropa, tasa metabólica, humedad y velocidad del aire; puesto que la Norma ISO 17772-1: 2017 ya los ha considerado. Si existen temperaturas operativas mayores a los 25°C en el verano, se puede optar por una mayor velocidad del aire para compensar el aumento de la temperatura del aire.

3.2.2 Calidad del aire

Debido a que la contaminación del aire se genera mayormente al interior de los espacios, resulta sumamente importante su control de manera frecuente. La calidad del aire percibida es aquella que se basa en el nivel de olor que perciben los usuarios en el espacio, que se define como *olf* y se explica con mayor detalle en el inciso 4.3. Además del olor de las personas (al que es más fácil adaptarse), debe tomarse en cuenta el olor de otras fuentes (emisiones de materiales de construcción y mobiliario) cuya adaptación es más difícil.

Existen dos términos para el tipo de usuarios: personas adaptadas (permanentes dentro del espacio) y personas no adaptadas (eventuales dentro del espacio), de los que existen ciertos niveles de calidad del aire. Sin embargo, para ambos grupos la ventilación mínima requerida es de 4 l / s por persona para lograr la dilución de aquellas sustancias presentes en el ambiente interior. Por lo tanto, es importante el diseño de los *caudales de aire de ventilación*, para todos los sistemas de ventilación —mecánica, natural e híbrida—.

La falta de una buena calidad del aire puede repercutir en condensación y/o crecimiento de moho, así como altas concentraciones de contaminantes. Para evitar dicha situación es importante proporcionar ventilación básica a los espacios (en especial aprovechar las horas desocupadas), ya sea mediante los sistemas de ventilación o por la apertura de ventanas, según sea el caso. De manera secundaria, se debe prever alguna situación de humedad existente que presente afectación en el edificio.

Generalmente en los edificios residenciales, los usuarios pertenecen al grupo de personas adaptadas, debido a que tienen mayor permanencia en sus casas. Pero en el caso aquellos edificios no residenciales —oficinas, escuelas, cines, bares, restaurantes— las tasas de ventilación son diferentes, debido al uso de cada uno de ellos y a las características propias.

El aire interior se debe al aire exterior. Por lo tanto, la ubicación y orientaciones de las aperturas del edificio deberán ser analizadas para determinar las soluciones adecuadas de limpieza y filtración de aire. Estos pueden ser filtros finos de partículas —cuando se exceden

los valores de la norma nacional o de las pautas de la OMS para PM10 o PM2.5— o dispositivos de limpieza de aire externo. Es importante la limpieza, cuidado y mantenimiento de los propios filtros de aire, ya que pueden convertirse en una fuente de sustancias nocivas u olorosas.

3.2.3 Humedad

Los criterios de humedad dependen del confort térmico, calidad del aire interior y de los requisitos propios del edificio (condensación o moho). Algunas edificaciones como los museos, edificios históricos e iglesias, tienen ciertas condiciones especiales para la humedad. En cambio, oficinas, escuelas y edificios residenciales, la humidificación y deshumidificación no son necesarias, a excepción de zonas geográficas con altos niveles de humedad exterior. Es aceptable en periodos cortos de tiempo que existan valores muy bajos o altos de humedad.

3.2.4 Iluminación

La iluminación natural es parte fundamental de la salud y bienestar de las personas. Su acceso a los espacios interiores es a través de las ventanas —en techo y/o fachada—, las cuales deben ser bien diseñadas para evitar poca luz del día, sobrecalentamiento, invasión de la privacidad, reflejos, etcétera. Además, proporcionan contacto visual con el entorno exterior.

La iluminación satisface tres necesidades visuales básicas —confort, rendimiento y seguridad—, y varía de acuerdo con el tipo de actividades y requerimientos normativos que se tengan. Por ejemplo, los niveles de iluminación en los espacios de trabajo no son los mismos que en las áreas deportivas.

La luz del día debe considerarse mayormente durante gran parte del día. Sin embargo, en las horas en las que no se tenga este recurso, se deberá proporcionar iluminación artificial adecuada.

3.2.5 Sonido

Para evaluar adecuadamente un ruido con respecto a los requisitos, es necesario normalizar el nivel continuo equivalente con respecto al tiempo de reverberación para tener en cuenta la absorción acústica de la habitación.

La claridad con la que se presenta la norma ISO 17772, así como por sus parámetros, criterios y métodos para evaluar la calidad del ambiente interior, hace propicio su uso para ser implementada como una línea base en un instrumento de evaluación de la calidad del ambiente interior. Aborda todos los aspectos físicos de manera que el actor principal es el usuario.

3.3 Norma NMX-C-577-ONNNCE-2020

El 24 de septiembre de 2021 se publicó el aviso de consulta pública en el Diario Oficial del *PROY-NMX-C-577-ONNNCE-2020, Industria de la construcción – Calidad del ambiente interior – Evaluación del diseño de la calidad del ambiente interior en proyectos de edificación*. Establece métodos y parámetros para evaluar la calidad del ambiente interior y el desempeño energético de las edificaciones con el propósito de procurar el confort y la salud de los usuarios, así como aminorar el consumo energético.

El haber estudiado y analizado la norma ISO 17772, permitió participar en dicha consulta pública, en la que se realizaron varias observaciones tanto de forma como de fondo. Un punto importante que destacar es que se encontró que este proyecto de norma mexicana presenta muchos de los criterios de la norma ISO 17772-1:2017. Además, algunas consideraciones aún estaban vagas o poco explicadas, por tal motivo, aunque es mexicana, e incluye específicamente a los centros penitenciarios en algunos aspectos como en la iluminación y el sonido, no se tomó como línea base para la investigación.

3.4 Certificaciones

Con el paso del tiempo, en muchos países han surgido diversas certificaciones que buscan la eficiencia energética en las edificaciones. Algunas de ellas, se han dado cuenta de la importancia de incluir en sus evaluaciones, algunos aspectos que competen a la calidad del ambiente interior.

Estas certificaciones varían en sus ponderaciones. Por ejemplo, en un estudio que realizaron Larsen et al (2020), encontraron que existen diferencias en la importancia que le dan dichas certificaciones a los aspectos físicos de la calidad del ambiente interior. LEED (Estados Unidos) solo incluye calidad del aire interior e influencia del usuario, mientras que DGNB (Alemania), BREEAM (Reino Unido) y WELL (Estados Unidos) incluyen todas las áreas. Se encontró que DGNB es la certificación con mayor equilibrio entre los parámetros físicos de la calidad del ambiente interior. En el caso de la certificación WELL, además de abordar la calidad del aire, iluminación natural y artificial, confort térmico, confort acústico, calidad del agua, calidad de la alimentación, tipos de materiales y movimiento, incluye la mente y la comunidad como parte de sus criterios de salud, es decir, lo que anteriormente se explicó como neuroarquitectura. En el caso de Nabers (Australia), los parámetros más importantes fueron la calidad del aire y el ambiente térmico.

Por un lado, estas certificaciones se centran mayormente en edificios de oficinas, por lo que el peso que se le da a cada aspecto puede no corresponder a otro tipo de edificación. Lo anterior, debido a que se ha encontrado que dependiendo de las actividades que se realizan y el tipo de edificio la importancia de cada aspecto es diferente.

Por ejemplo, en los análisis de la calidad del ambiente interior en oficinas, el factor térmico es el que más influye en los espacios de trabajo para un mejor desempeño laboral. Otros estudios descubrieron que el mismo género de edificio de oficinas, pero en el rubro académico, el elemento relevante fue el ruido. Esto se debe al nivel de concentración que se requiere más en uno que en otro (Kang, 2017). Lo anterior se constata en estudios realizados en diversas escuelas como el caso de De Giuli et al. (2014), donde nuevamente el ruido fue prioritario.

Debido a lo anterior, es importante que se analicen todos los aspectos físicos en conjunto y no de manera aislada (Lai, mui, Wong, & Ley, 2009) para que con ello se logre conocer la calidad del ambiente interior real y, por lo tanto, los aspectos más significativos de cada espacio.

La manera en cómo se han realizado estas investigaciones ha sido variada. Algunas se han enfocado en la parte subjetiva del estudio, esto es, solo se han realizado encuestas a los usuarios para conocer la percepción que tienen del espacio. Otros han encausado el estudio de manera objetiva, así, se obtienen datos a partir de mediciones en campo, con equipos de medición.

Finalmente, existen aquellos investigadores como Steen et al (2020) que han considerado importante analizar la calidad del ambiente interior de manera tanto objetiva como subjetiva. Esto, ha permitido que los estudios sean mucho más completos y con ello, han dado pauta para obtener datos más confiables y con mayor relevancia (Ricciardi & Buratti, 2018).

El interés por este tema ha logrado unir fuerzas entre el ámbito de la construcción y la salud. De esta manera se desarrolló el Well Living Lab (2020), un laboratorio formado en colaboración de Delos y Mayo Clinic, ubicado en Rochester, Minesota. El Well Living Lab tiene 510 metros cuadrados de espacio que se pueden configurar de acuerdo a los requerimientos de la investigación, con el propósito de conocer cómo el ambiente interior impacta la comodidad, salud y productividad de las personas. Well Living Lab es el primer laboratorio dedicado exclusivamente a la investigación, el desarrollo y la prueba de los entornos construidos, así como de buscar una mejora en la salud y el bienestar de las personas que viven y trabajan en estos espacios.

Aunado a ello, en la búsqueda por proporcionar información sobre la calidad del ambiente interior de manera comprensible, se ha dado paso a la herramienta para la evaluación integral denominada IEQ-Compass desarrollada por Steen et al., (2020). Esta herramienta, producto del proyecto danés REBUS, proporciona una etiqueta IEQ general que utiliza una letra y un código de color similar a las etiquetas energéticas para edificios. También, se generan etiquetas individuales para cada uno de los aspectos: ambiente térmico, calidad del aire, iluminación y ruido. De esta manera se pretende que la información esté

disponible y sea fácilmente comprensible tanto para los diseñadores de los edificios como para los usuarios.

Para determinar los parámetros más relevantes que debieran ser considerados para el ambiente térmico, la calidad del aire, la iluminación y el ruido, en la herramienta IEQ-Compass, se desarrollaron listas basadas en bibliografía y consultas con expertos en cada una de las cuatro áreas.

Como se puede apreciar los diferentes organismos de certificación han encontrado importante no solo los ahorros energéticos y el impacto climático de las edificaciones, sino que también han resultado que se debe tomar en cuenta la habitabilidad de los usuarios, aunque con mucha menos importancia. Esto es posible que se deba, a los intereses económicos que hay detrás de las certificaciones, ya que, por ejemplo, evalúan que el sistema de aire acondicionado tenga ciertas características —por ejemplo, equipos también certificados—, pero si se utiliza ventilación natural, esto no genera puntos, aun cuando es un sistema pasivo, con el que se pueden tener ahorros energéticos fuertes, y un bajo impacto ambiental. No obstante, los diversos estudios y laboratorios, como el Well Living Lab, o el IEQ-Compass, así como la norma ISO 17772 entre muchos otros, se han enfocado totalmente a la calidad del ambiente interior, desarrollando herramientas que analicen todos los aspectos de esta.

Es a través de esta reflexión que se optó por no utilizar las certificaciones, y más bien, abordar la investigación desde una perspectiva que se enfoque al 100% a las condiciones que tienen los usuarios en los espacios, dejando a un lado las cuestiones energéticas.

3.5 Simulaciones

Otra herramienta que también ha realizado aportes para el análisis de la calidad del ambiente interior son las simulaciones. En su libro, *Simulación. Un enfoque práctico*, Coss Bu (2003) retoma algunas definiciones y datos importante sobre el tema. Como ejemplo, para Thomas H. Naylor la simulación es:

Técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo (12).

Es así como las simulaciones se han llevado a diferentes ámbitos (desde la época del Renacimiento, pero que se conoce con el término *simulación*, a partir de 1940) económicos, sociales, biológicos, físicos, químicos, como lo mencionan H. Maisel y G. Gnugnoli. Dicho sea de paso, la simulación se utilizó durante la Segunda Guerra Mundial en el proyecto Monte

Carlo, para resolver problemas de reacciones nucleares, ya que el método experimental era caro, y el análisis matemático muy complejo.

Para la arquitectura, la simulación ha abierto camino a nuevas maneras de diseñar y construir, ya sea mediante la creación de estructuras y formas *imposibles*, hasta la simulación energética de las edificaciones. Es así como ahora existe la posibilidad de calcular con anticipación el consumo energético, las pérdidas y ganancias de calor, las emisiones de CO₂, la iluminación, entre muchas otras (Reto KÖMMERLING, 2016)

En cuestión de la calidad del ambiente interior, un estudio llevó a cabo simulaciones de rendimiento energético y de luz natural, para investigar si los usuarios pueden aprovechar los factores ambientales naturales durante las horas ocupadas en los edificios de oficinas. La razón de dicho estudio, es que considera a los usuarios como los factores principales para mejorar la calidad ambiental interior y la eficiencia energética (Shahryar, 2016).

Como se mencionó anteriormente, la calidad ambiental interior es también considerada como un problema que debe evaluarse en las áreas térmica, iluminación, calidad del aire y acústica, ya que también afecta el rendimiento del edificio.

Debido a la complejidad y dificultad de analizar los aspectos de los factores ambientales y la falta de instrumentos de medición experimentales, sobre todo en centros penitenciarios, —también por la seguridad y privacidad que representa—, resulta factible el uso de la simulación, como una estrategia para conocer las condiciones ambientales interiores de dichos espacios. Es decir, así como en la Segunda Guerra Mundial, o las investigaciones en Marte —cuando todavía no se podía llegar—, no hemos de limitar el estudio por el hecho de no poder estar allí, más bien debemos explorar otras opciones que permitan de igual forma obtener información confiable con la que se puedan hacer aportaciones.

3.6 Valoración de la calidad del ambiente interior en los centros penitenciarios

De manera enunciativa, en los capítulos anteriores se mencionaron algunos organismos que realizan inspecciones para determinar las condiciones de los centros penitenciarios, pero que dentro de sus valoraciones no incluyen de manera contundente la calidad del ambiente interior. Sin embargo, a continuación, se menciona cómo son sus evaluaciones.

3.6.1 Reglas Mínimas para el Tratamiento de los Reclusos de las Naciones Unidas: Reglas Mandela.

Como ya se ha dicho, existen las Reglas Mínimas para el Tratamiento de los Reclusos de las Naciones Unidas. Anteriormente se habló de la Regla Mandela 13, que retomamos en

este capítulo, la cual indica de manera somera algunos requerimientos que tienen que ver con la calidad del ambiente interior.

Los locales de alojamiento de las personas privadas de la libertad deberán cumplir todas las normas de higiene, particularmente en lo que respecta a las condiciones ambientales, al volumen de aire, superficie mínima, iluminación, calefacción y ventilación (ONU, 2015).

Asimismo, la Regla Mandela 14 expresa:

En todo local donde los reclusos tengan que vivir o trabajar:

a) las ventanas serán suficientemente grandes para que puedan leer y trabajar con luz natural y estarán construidas de manera que pueda entrar aire fresco, haya o no ventilación artificial;

b) la luz artificial será suficiente para que puedan leer y trabajar sin perjudicarse la vista.

Además, el Manual de agua, saneamiento, higiene y hábitat en las cárceles (2011) indica:

Para renovar el aire de forma adecuada, se debe reunir el siguiente requisito: El tamaño de las aberturas no puede ser menor a una décima parte del área de suelo.

Las exigencias normativas en lo que concierne a iluminación, varían de acuerdo con las actividades que se desarrollan en los espacios y por lo tanto son diferentes los tipos de luz, intensidad, cantidad y duración. Sin embargo, los centros penitenciarios tienen diversas actividades, como lo indica la Constitución Política (2020) en su artículo 18 reformado en el 2011:

El sistema penitenciario se organizará sobre la base del respeto a los derechos humanos, del trabajo, la capacitación para el mismo, la educación, la salud y el deporte como medios para lograr la reinserción del sentenciado a la sociedad y procurar que no vuelva a delinquir, observando los beneficios que para él prevé la ley.

En cuanto a cuestiones psicológicas, la Regla Mandela 30, en su inciso c, plantea:

c) detectar todo indicio de estrés psicológico o de otra índole causado por la reclusión, incluidos el riesgo de suicidio o autolesión y el síndrome de abstinencia resultante del uso de drogas, medicamentos o alcohol, y aplicar todas las medidas o tratamientos individualizados que corresponda.

Podemos leer que dichas reglas no dan más información y/o parámetros sobre las condiciones de la calidad del ambiente interior del espacio físico, y mucho menos de cómo debe ser dicho entorno para proporcionar estabilidad emocional en los internos.

3.6.2 Diagnóstico Nacional de Supervisión Penitenciaria

Por su parte, la CNDH (2019), a través de su Diagnóstico Nacional de Supervisión Penitenciaria, emitió una evaluación a los distintos centros, en la que se califican diversos rubros —aspectos que garantizan la integridad física y moral del interno, aspectos que garantizan una estancia digna, condiciones de gobernabilidad, reinserción social del interno y grupos de internos con requerimientos específicos—.

El que compete a la calidad del ambiente interior, y, por lo tanto, a la presente investigación, es el correspondiente a aspectos que garantizan una estancia digna, debido a que evalúa:

- Existencia y capacidad de las instalaciones necesarias para el funcionamiento del establecimiento.
- Condiciones materiales e higiene de las instalaciones para alojar a los internos (ingreso, COC, dormitorios).
- Condiciones materiales e higiene del área médica.
- Condiciones materiales e higiene de la cocina y comedores.
- Condiciones materiales e higiene de las instalaciones para la comunicación con el exterior.
- Condiciones materiales e higiene de los talleres y áreas deportivas.
- Alimentación.

Para ese año la calificación promedio nacional fue de 6.19 en dicho rubro. Sin embargo, algunos estados como Querétaro (8.24), Coahuila (8.31) y Guanajuato (8.28) obtuvieron las calificaciones más altas, por arriba del promedio.

De esta manera vemos que, dicho diagnóstico nos da resultados de evaluación, pero no nos indica bajo qué criterio se considera que realmente los espacios evaluados garantizan condiciones de habitabilidad. Además, en ninguno de los puntos nos habla sobre condiciones psicológicas favorables para la estancia digna que están evaluando.

3.6.3 Acreditación ante la Asociación de Correccionales de América ACA

Una manera de fortalecer el sistema penitenciario en Estados Unidos ha sido mediante la Acreditación de la Asociación de Correccionales de América (ACA)—fundada en

1870—, que es una organización profesional sin fines de lucro, que tiene como objetivo mejorar el sistema de justicia de dicho país.

Los estándares internacionales de la ACA están divididos en dos, de tal manera que se debe cumplir con el 100% de los estándares obligatorios y un mínimo de 90% de estándares no obligatorios para que un centro pueda ser acreditado.

Para ello, la ACA considera 137 estándares internacionales centrales de los cuales 40 son obligatorios y 97 no obligatorios. Dichos estándares se dividen en siete áreas: 1) Seguridad –proveer un ambiente seguro; 2) Protección – proteger contra daños; 3) Cuidado – proveer las necesidades básicas y atención personal; 4) Orden – mantener un ambiente ordenado; 5) Programa y actividades – ayudar a los internos a reintegrarse exitosamente a la comunidad; 6) Justicia – tratar a los internos de forma justa y con respeto de sus derechos legales; 7) Administración y gestión- administrar y manejar los centros de forma profesional y responsable.

La vigencia de la acreditación al inicio es de tres años. Para ello, una vez acreditado el centro debe reportar anualmente ante la ACA cualquier situación significativa que se haya suscitado, ya sea algún cambio o incidente. Además, se debe realizar una auditoría interna en la que se refleje que se sigue cumpliendo con los estándares internacionales. Una vez terminado dicho periodo, se puede optar por una reacreditación, la cual exige que se cumpla con el 95% de los estándares no obligatorios (USEMBASSY, 2020).

En los últimos diez años, la ACA, no solo se ha implementado en los Estados Unidos. México (desde 2011) y Colombia (desde 2018) (Barreto, 2018) son dos países de Latinoamérica que han optado por buscar dicha acreditación, con el fin de obtener centros penitenciarios más seguros, organizados, estructurados, en los que se respeten los derechos humanos.

Es así como durante el periodo del gobierno de México del 2008 al 2012, se implementó una estrategia penitenciaria que en su apartado V. *Los retos del Sistema Penitenciario Mexicano* abordan temas como la sobrepoblación, la transformación de los centros de reclusión en centros para la reinserción, así como la sustentabilidad de los centros penitenciarios. De esta manera surge en el 2008, la Iniciativa Mérida, con la que se buscó una cooperación bilateral en materia de seguridad (USEMBASSY, 2008). Ya para abril del 2011, México solicitó al gobierno de los Estados Unidos evaluar cuatro prisiones mexicanas, con el propósito de ser acreditadas conforme a estándares internacionales por la ACA.

Posteriormente, se siguieron acreditando varios centros penitenciarios por toda la República Mexicana, logrando así —hasta 2020—un total de 98 instituciones acreditadas internacionalmente por la ACA.

Dos de ellos, el Establecimiento Penitenciario Distrital Jerez (Zacatecas) y el Centro de Reinserción Social El Hongo I (Baja California) fueron acreditados por primera vez, mientras que algunos de Querétaro, Guanajuato (con 4), Morelos, Jalisco, Ciudad de México y el Estado de México han sido reacreditados.

Con lo anterior, quedan abiertas las siguientes preguntas: ¿Es necesaria la acreditación ACA en México para proporcionar centros penitenciarios seguros que respeten los derechos humanos de las personas privadas de la libertad? ¿Los centros penitenciarios acreditados tienen condiciones de habitabilidad?

De acuerdo con el documento elaborado por la Comisión Nacional de Seguridad (2017) bajo el nombre *Solicitud de Incorporación del Subprograma: “Acreditación (certificación) de establecimientos penitenciarios”*, en el numeral 3. *Control y seguimiento*, se desarrolla el apartado *para la acreditación ante la Asociación de Correccionales de América; inciso C. Fortalecimiento de la Infraestructura de los Centros Estatales de Readaptación Social; indicador 7: “Cumplimiento de las condiciones básicas de la infraestructura de los Centros Estatales de Readaptación Social”*, que menciona en la *tabla 1. Condiciones básicas de la Infraestructura de los Centros Estatales de Readaptación Social*, determina el valor de .01 de puntuación si existe *acceso a iluminación natural e iluminación artificial suficiente*. Dicha puntuación solo se indica para el área de estancias, celdas y dormitorios, dejando a un lado el resto de los espacios que conforman los centros.

Por otro lado, en el anexo 2 del mismo documento se describen los 137 estándares ACA. El numeral 44. Seguridad 1-ICS-1A-09 - Todas las estancias/dormitorios de los internos tienen acceso a luz natural; y el numeral 45. Seguridad 1-ICS-1A-10 -La iluminación de todo el centro será suficiente para las tareas que se realizan. Sin embargo, además de que no se califican ni determinan condiciones más específicas en el caso de la iluminación, tampoco se mencionan los rubros del ambiente higrotérmico, calidad del aire y sonido como parte de la evaluación para certificar un inmueble ante la ACA. Es importante puntualizar que ninguno de los numerales se refiere a proporcionar condiciones que ayuden en la estabilidad emocional de la comunidad penitenciaria y solo tres numerales que tienen que ver con el cuidado 1-ICS-4C-10, 1-ICS-4C-11 y 1-ICS-4C-12, indican que debe existir un lugar donde se hagan valoraciones físicas y mentales a los internos.

De esta manera, se muestra la falta de criterios de evaluación de las condiciones básicas de la infraestructura —calidad del ambiente interior y reinserción social mediante la psicología ambiental— que deben cumplir los centros penitenciarios para la acreditación ACA, y, por ende, a suplir de dichas necesidades tanto al personal administrativo, operativo y visitas, y, sobre todo, a las personas privadas de la libertad.

Conclusiones

Como se puede ver, la calidad del ambiente interior ha tenido un fuerte auge en las últimas décadas. Actualmente, existe mayor conocimiento, instrumentos, normas y criterios para poder analizarla, pero, más allá de los avances que existen, las condiciones de habitabilidad de muchos espacios son cuestionables.

Los criterios que se utilizan para determinar que un espacio es habitable o no, solo se basan en la idea de que exista o no una ventana, que haya suficiente iluminación, que se genere ventilación, por poner algunos ejemplos. Asimismo, el enfoque y preocupación mayormente se ve reflejado en las condiciones energéticas como es el caso de las certificaciones, que sí consideran dentro de sus evaluaciones a la calidad del ambiente interior, pero como un aspecto secundario al que no se le da demasiado peso. Lo cierto es que una mala calidad del ambiente interior deriva en afectaciones en la eficiencia energética. Es por ello que cada vez es más obvia la relación estrecha que tienen y, por lo tanto, la importancia de la calidad del ambiente interior.

Ahora bien, las certificaciones y normas antes expuestas se dirigen hacia tipologías de edificios mayoritarias como oficinas, escuelas, vivienda, y se dejan a un lado las minorías como los centros penitenciarios.

Si bien es cierto que existen organismos que revisan y regulan las condiciones de reclusión de las personas privadas de la libertad, como son las Reglas Mandela, la acreditación ACA o la CNDH en sus Visitadurías, aún queda mucho desconocimiento en cuanto a las características de habitabilidad que tienen. Además, es importante recordar la realidad y economía que se tiene en la mayoría de los centros penitenciarios de México, que difiere en gran manera, con los de los Estados Unidos. Es por ello primordial generar estándares nacionales, que apliquen a las condiciones y problemática del país, y con ello obtener resultados más acordes a nuestra situación.

Lo cierto es que cualquier edificio puede y debe ser evaluado. Aun cuando no existiera la certificación ACA, México, de igual manera, debería revisar, vigilar y evaluar constantemente los centros penitenciarios, ya que son edificaciones que se utilizan las 24 horas los 365 días del año, en las que el uso y rendimiento decrecen diariamente y, por lo tanto, con el paso del tiempo, se genera un detrimento significativo de las condiciones de habitabilidad de los mismo.

Si partimos del hecho de que las personas pasan cada vez más tiempo en ambientes cerrados —90%—, y más aún, las personas privadas de la libertad, debería ser primordial el conocer las condiciones de estos espacios, con el propósito de determinar si son o no *saludables*, y, de no serlo, buscar estrategias que mejoren la calidad del ambiente interior.

CAPÍTULO 4

Método de análisis de la calidad del ambiente interior mediante ecuaciones matemáticas



“La privación de libertad es pena suficiente. A partir de ahí, es importante que a través de la calidad de la construcción no se arranque a las personas de la vida normal, puesto que con ello se logra también una mejor reinserción social”.

Josef Hohensinn



Capítulo 4. Método de análisis de la calidad del ambiente interior mediante ecuaciones matemáticas

Al retomar algunos aspectos del marco teórico como: el cierre de centros penitenciarios, la reducción de inversión económica para estos espacios, el hecho de que habrá una mayor cantidad de personas procesadas por delitos menores, así como las diferentes maneras en las que se realizan las evaluaciones de la calidad del ambiente interior, se encontró factible la evaluación por simulación. Además, la misma norma ISO 17772 indica que se puede clasificar y certificar el ambiente interior de un espacio, a través de simulaciones, tanto para edificios nuevos como existentes.

En la actualidad existen diversos softwares especializados para realizar simulaciones térmicas, de iluminación y de eficiencia energética. Sin embargo, con un solo programa no se logra analizar la calidad del ambiente interior completa, lo que lleva a tener que hacer uso de varios programas, en algunos casos con costos elevados. Un inconveniente que se encontró en el caso del análisis del ambiente higrotérmico es que los softwares no contaban con información específica del lugar —como las normales climatológicas, que para estos programas se dan por medio de un archivo epw— lo que hacía que los mismos programas extrajeran información de otros lugares, mediante un mapa global de zonas climáticas de la ASHRAE, pero no del lugar propio (Sánchez, 2022). Es por ello que se realizó la simulación por computadora, pero no mediante software especializado.

Ahora bien, debido al tema que aquí se expone, correspondiente a centros penitenciarios, el cual es delicado y, por lo tanto, hace difícil de obtener información real y por consiguiente de difundir, se optó por realizar la evaluación de la calidad del ambiente interior de un espacio partiendo de un prototipo. Dicho prototipo está basado en el documento emitido por la CNDH denominado *Un modelo de prisión* (2016b). Este documento es una iniciativa que presenta criterios de diseño con el propósito de:

Generar bases para crear un sistema con perspectiva presente y futura... y ofrecer así más herramientas que permitan a los operadores del sistema penitenciario optimizar su funcionamiento a fin de garantizar los Derechos Humanos de las personas privadas de la libertad y contribuir a su reinserción social efectiva (7).

Es necesario enfatizar que las guías de diseño, como es el caso de este *Modelo de prisión*, son parámetros de referencia que deben estar en constante actualización ya que como dice Muriá y Olivares (2001): “son producto de un análisis de la experiencia y la práctica que determinan los requisitos mínimos que deben cumplir los espacios

arquitectónicos”. El transcurso del tiempo y los avances tecnológicos y de conocimiento, deben voltear a analizar lo existente, como es el caso de las guías de diseño, con el propósito de buscar si existe oportunidad de que estas sean perfectibles o modificables.

Ahora bien, en cuanto al presente tema de investigación, se toma este prototipo precisamente como un punto de partida, que sirva para probar y evaluar la eficacia del diseño general, o como lo define Yang “un prototipo es la realización temprana de un concepto de diseño” (Córdoba, Bonilla, & Artega, 2015).

Es así como se encontró que el análisis de un prototipo no vulneraba o ponía en riesgo algún centro penitenciario, al no tener un caso de estudio en particular. Por último, y no menos importante, que las dificultades que podían presentarse no fueran una limitante para seguir sin atender a las personas privadas de la libertad en el ámbito que nos compete.

De esta manera, se llegó a la siguiente metodología para la simulación por computadora del prototipo:

1. Recopilación de datos climáticos, características arquitectónicas del espacio, propiedades de los materiales, tipo de actividades que se realizan dentro del espacio, número de personas.
2. Procesamiento de datos que fueron analizados mediante el método analítico con ecuaciones matemáticas.
3. Los resultados obtenidos se confrontaron con la línea base correspondiente a la norma ISO 17772.
4. Polígono de resultados.

Ahora bien, debido a que la simulación sería del prototipo de celdas establecido por la CNDH, era importante considerar un método que permitiera obtener datos de manera indirecta, en el que, además, se tuviera control y total conocimiento del comportamiento de las tres variables —independiente, dependiente e interviniente—, puesto que la simulación debía caracterizarse, a diferencia de una medición directa, en la que los datos son los datos por los mismos equipos.

Es así como, resultado de la literatura y de la norma ISO 17772, se encontró el método de análisis por ecuaciones matemáticas para obtener datos que pudieran ser analizados. A continuación, se explican las consideraciones que se siguieron en dicho método para cada factor físico de la calidad del ambiente interior.

Para establecer la categoría de calidad ambiental interior definida en la norma ISO 17772, es necesario conocer las actividades del tipo de espacio o edificación que se pretenden analizar.

En el caso de los centros penitenciarios, partimos del hecho de que las actividades que desarrollan las personas privadas de la libertad se basan en el *trabajo, la capacitación para el mismo, la educación y el deporte*. (DOF, 2020), además del descanso provisto en las áreas de alojamiento. Sin embargo, para esta evaluación, se descartarán el trabajo y la capacitación ya que solo se enfocará en espacios habitables por el ser humano donde no haya algún proceso industrial y de producción.

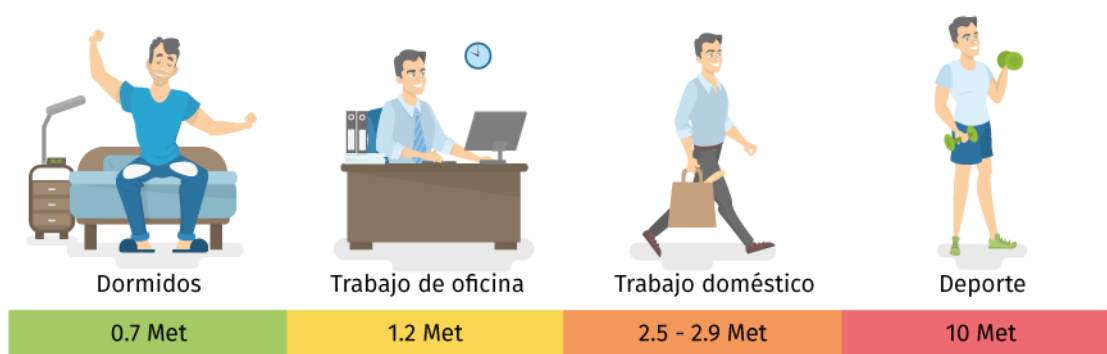


Figura 11. Valores Met de acuerdo con el tipo de actividad. Elaboración propia.

El deporte también será otro elemento no considerado para la evaluación, puesto que la norma ISO 17772 se basa en actividades sedentarias con máximo 1.5 met. —El met es la unidad de metabolismo que nos indica el nivel de actividad de una persona—. Las actividades deportivas, estas oscilan en los 10 met. De esta manera tenemos dos variables: la educación y el descanso, aunque como se indicó en el capítulo 1 (20), el análisis se enfocará en un prototipo de celdas, es decir, el área de alojamiento, en la que se considera se realiza una actividad de descanso. Por lo tanto, la educación también será descartada. Es así como se seleccionó el tipo de edificio o espacio correspondiente a *edificios residenciales, espacios habitables* de la Norma ISO 17772, en los que se realizan actividades sedentarias.

4.1 Características del prototipo

Como se mencionó anteriormente, el análisis de la calidad del ambiente interior se realizará en el prototipo de celdas establecido por la CNDH. Las celdas corresponden a la zona denominada *alojamiento*, que comprende el régimen de mínima, mediana y máxima seguridad, y que, como se indicó en el capítulo 1 (20), es el espacio rector de un centro penitenciario y en el que además se refleja claramente la sobrepoblación y el hacinamiento. También es importante resaltar que el área de alojamiento es la que debe tener el mayor nivel de seguridad, ya que es aquella zona en la que las personas privadas de la libertad tienen supervisión directa. No obstante, eventualmente también están solos, y por ello se dan los máximos requerimientos antivandálicos (CNDH, 2016b).

El prototipo de celdas planteado por la CNDH tiene un número específico de personas privadas de la libertad para cada celda, población que posteriormente se decidió incrementar dos veces un 33%—debido a que es el porcentaje de sobrepoblación que se tiene documentado—(DNSP, 2019). Los números de sobrepoblación se redondearon hacia los números pares, ya que la conformación de celdas siempre se da en números pares—o así debería de ser—.

Los escenarios son: celda de mínima seguridad con (5, 7 y 9 personas), mediana seguridad (3,5,7 personas) y máxima seguridad (1,3,5 personas). Como podemos observar, la variable interviniente respecto al número de personas es la única que ha sido manipulable con la intención de tener puntos de comparación entre los tres tipos de celdas.

Es importante mostrar que, a partir de 3 personas en un dormitorio el índice de calidad global de la vivienda lo considera como hacinamiento medio, mientras que 5 personas es crítico (Redatam, s.f.).

Índice de hacinamiento	
Personas por dormitorio en la vivienda	Tipo de hacinamiento
2.4 y menos	Sin hacinamiento
2.5 a 4.9	Hacinamiento medio
5 y más	Hacinamiento crítico

Figura 12. Índice de hacinamiento según el índice de calidad global de la vivienda.

En cuanto al tipo de actividades que se desarrolla dentro de las celdas, como se indicó anteriormente, corresponden a actividades sedentarias como dormir, escribir, platicar, escuchar música, que es información importante para los cálculos planteados en el método.

Todas las celdas tendrán una altura de 3 m, con muros, pisos y cubiertas de concreto armado de 12.5 cm de espesor. En cuanto a las puertas, serán de reja de perfil estructural de acero con 5 cm de espesor, y separación entre elementos de 10 cm. Las ventanas estarán compuestas de perfiles estructurales de acero con anclajes ahogados en muro y con película de seguridad. La separación máxima entre elementos será de 12 cm verticalmente y 60 cm horizontalmente, con un espesor de 5 cm. El mobiliario (que generalmente es de acero porcelanizado: guarda de ropa, cama individual, escritorio, banco y escalera) no será considerado para los cálculos.

De manera gráfica el Anexo 1 muestra las condiciones de la celda de mínima seguridad con 5 personas. Sin embargo, manera de resumen, las celdas cuentan con las siguientes características:

Características	Mínima seguridad	Mediana seguridad	Máxima seguridad
Área	15.02 m ²	10.20 m ²	5.40 m ²
Entrepiso	3 m	3 m	3 m
Población establecida	5 personas	3 personas	1 persona
Sobrepoblación +33%	7 personas	5 personas	3 personas
Sobrepoblación +33%	9 personas	7 personas	5 personas
Muros, pisos y plafones	Concreto armado 12.5 cm espesor		
Puertas	Reja de perfil estructural de acero con 5 cm de espesor, y separación entre elementos de 10 cm		
Vanos (ventanas)	Al oeste	Al oeste	Al oeste

Figura 13. Características arquitectónicas de las celdas a analizar. Elaboración propia.

Es importante precisar, que, aunque sea un prototipo, para ser analizado, debe ser ubicado en una latitud y altitud específica. Para esta investigación se seleccionó Saltillo, Coahuila. Uno de los motivos por los que se escogió dicho estado, se debe a que, como se mencionó en el Capítulo 3 del presente documento, fue una de las entidades federativas con mejor evaluación para el 2019 en cuanto a aspectos que garantizan una estancia digna con un promedio de 8.31. Al revisar más a fondo la evaluación para el área de alojamiento, que el diagnóstico denominó *dormitorios*, su calificación fue de 10.

Además, la solicitud de incorporación del Subprograma *Acreditación (certificación) de establecimientos penitenciarios* (CNS, 2017) anteriormente señalada, nos muestra que para 2017, de los 7 centros que tiene dicha entidad, 3 de ellos fueron acreditados y reacreditados ante la ACA. En específico, el Centro Penitenciario Femenil de Saltillo, que fue reacreditado y obtuvo para ese año, una calificación de 8.45 por la CNDH. Uno de los más altos a nivel nacional.

4.2 Ambiente higrotérmico

El primer punto por indicar con respecto al ambiente higrotérmico es que, ya que en México difícilmente se utilizan sistemas mecánicos de calefacción o refrigeración, (lo cual es especialmente cierto en los centros penitenciarios), el cálculo solo se enfocará en edificios sin refrigeración mecánica. De esta manera, para edificios sin sistemas de refrigeración mecánica la norma ISO 17772-1 indica que, durante la temporada de verano y entre estaciones —primavera y otoño—, se pueden aplicar los criterios adaptativos (límites de temperatura superior como inferior que cambian con la temperatura exterior media de funcionamiento). Para ello, se deberán tomar los datos, según corresponda, de las categorías I, II y III, tanto de límite superior e inferior de la siguiente gráfica:

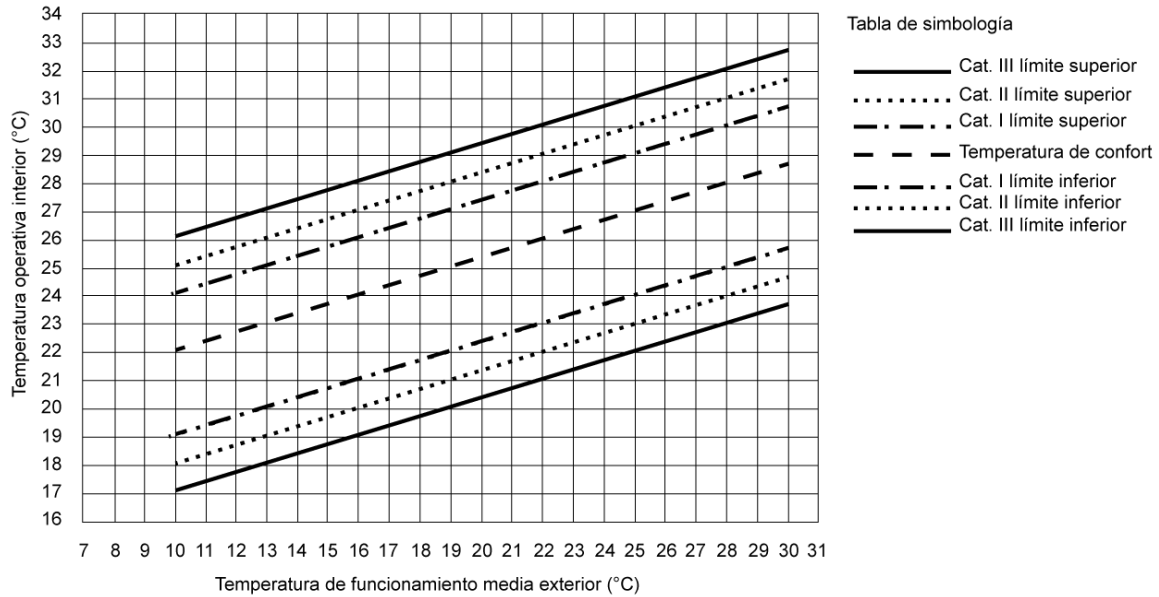


Figura 14. Valores de diseño para la temperatura operativa interior para edificios sin sistemas de refrigeración mecánicos en función de una media de funcionamiento ponderada de la temperatura exterior. Gráfica tomada de la Norma ISO 17772-1

La misma norma señala que, durante el invierno, se deben aplicar los mismos límites de temperatura que se presentan para los edificios con sistemas de enfriamiento mecánico. En este caso, se tomó la siguiente tabla de dicha norma:

Norma ISO 17772			
Tipo de edificio o espacio	Categoría	Temperatura operativa °C	
		Mínimo de calentamiento (temporada de invierno) 1.0 Clo	Máximo de enfriamiento (temporada de verano) 0.5 Clo
Edificios residenciales, espacios habitables (dormitorios, cocinas, salas de estar)	I	21	25.5
	II	20	26
	III	18	27
Actividad sedentaria ~ 1.2 met	IV	16	28

Nota: Durante el periodo entre estaciones (con una temperatura media de funcionamiento entre 10° C y 15 °C), se pueden utilizar los límites de temperatura que se encuentran entre los valores de invierno y verano.

Figura 15. Ejemplos de valores de diseño recomendados de la temperatura operativa interior en invierno y verano para edificios con sistemas de enfriamiento mecánico. Tomado de la Norma ISO 17772-1

Se considera que estos valores son viables, mientras las actividades que se realicen sean sedentarias, con tasas metabólicas de 1.0 met hasta 1.3 met. En el caso del área de celdas, como vimos en la introducción de este capítulo, esto es completamente factible.

La norma indica que en temporada de verano se puede utilizar ventilación mecánica con aire no acondicionado; asimismo, expresa la importancia de permitir una libre apertura y cierre de ventanas; que los usuarios puedan tener un control personal del entorno interior mediante algún tipo de protección solar, ventiladores, persianas, ventilación nocturna, entre otros, con lo que se logre regular las condiciones térmicas del espacio. La vestimenta también es un factor importante ya que los usuarios deberán estar en posibilidad de adaptarla — rango entre 0.4 clo a 1.0 clo— de acuerdo con las condiciones que se presenten.

Con respecto a la humedad, la norma nos presenta ejemplos de criterios de diseño recomendados en espacios ocupados si se instalan sistemas de humidificación o deshumidificación. La

Figura 16, muestra los porcentajes y categorías para espacios donde los criterios de humedad son establecidos por la ocupación humana.

Norma ISO 17772			
Tipo de edificio o espacio	Categoría	Humedad relativa de diseño para deshumidificación %	Humedad relativa de diseño para humidificación %
Espacios donde los criterios de humedad son establecidos por la ocupación humana. (Los espacios especiales, como museos, iglesias, etc, pueden requerir otros límites).	I	50	30
	II	60	25
	III	70	20

Figura 16. Ejemplo de criterios de diseño recomendados para la humedad en espacios ocupados si se instalan sistemas de humidificación o deshumidificación.

Aunque no se considerarán sistemas de humidificación o deshumidificación, se tomarán estos valores como puntos de partida para conocer si las condiciones que presentan las celdas están dentro de las categorías establecidas sin equipos especiales.

Para obtener los datos de manera indirecta del ambiente higrotérmico existente en los prototipos de celdas, a fin de contrastarlos con la norma ISO 17772, se utilizará el método simplificado de Morales (2019), derivado del programa TRANSYS, debido a que nos permite analizar los flujos de calor de la edificación y estimar la temperatura horaria al interior del espacio. Para ello se realizan los cálculos de:

Cálculo del flujo de calor por conducción QCOND
Cálculo del flujo de calor por ganancia solar directa QSHG
Cálculo del flujo de calor por ventilación QVENT
Cálculo del flujo de calor por infiltración QINF
Cálculo de la ganancia de calor por ocupantes QMET
Cálculo de la ganancia de calor por equipo eléctrico en uso QLIGHT
Capacitancia (almacenamiento térmico de los materiales)

Para ello, la información importante a considerar es:

Características climáticas en el mes más cálido y el mes más frío.

Las dimensiones del espacio: área, volumen.

Propiedades térmicas de los materiales como su conductividad y aislamiento térmico. Anexo 2

Los niveles metabólicos de acuerdo con el tipo de actividad de las personas, para conocer la ganancia de calor por número de ocupantes (ASHRAE, 1972).

Las constantes que son los coeficientes de convección del aire interior y exterior utilizadas en el cálculo de este método, también son obtenidas de la (ASHRAE, 1972).

Coeficiente de Stefan-Boltzman = $5.669 \times 10^{-8} \text{ w / hr m}^2 \text{ }^\circ\text{K}^4$

Coeficiente de convección del aire exterior (muros y ventanas) $h_e = 34.06 \text{ w/m}^2$ (constante)

Coeficiente de convección del aire exterior (techo) $h_e = 17.03 \text{ w/m}^2\text{K}$ (constante)

Coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (muros y techo) $h_i = 9.36 \text{ w/m}^2\text{K}$

Coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (ventanas) $h_i = 9.08 \text{ w/m}^2\text{K}$

Método de análisis de la calidad del ambiente interior aplicado a un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios

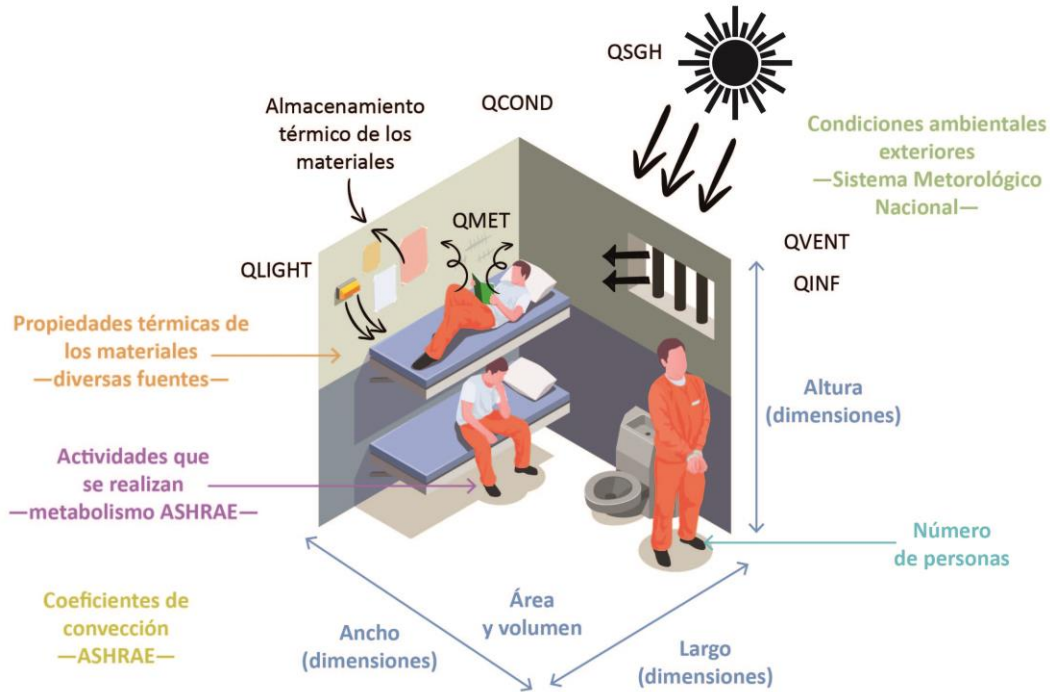


Figura 17. Aspectos por analizar en el método simplificado del programa TRANSYS para el cálculo de la temperatura horaria interior. Elaboración propia

Como punto de partida, y como se indicó en los criterios de diseño del ambiente higrotérmico (29), una herramienta básica de uso son las normales climatológicas. En México, esos datos se obtienen del Sistema Meteorológico Nacional (SMN, 2021), el cual nos presenta las normales climatológicas por estado de la República Mexicana. En el caso de Saltillo, Coahuila de Zaragoza, se tomó la estación meteorológica número 5048 Saltillo (DGE) con un periodo de 1951-2010. Latitud 25°26'00 N, longitud 101°00'00 W, altura 1700 msnm.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

NORMALES CLIMATOLÓGICAS

ESTADO DE: COAHUILA DE ZARAGOZA PERIODO: 1951-2010

ESTACION: 00005048 SALTILLO (DGE) LATITUD: 25°26'00" N. LONGITUD: 101°00'00" W. ALTURA: 1,700.0 MSNM.

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	19.7	21.4	24.7	27.9	29.9	30.3	29.7	29.2	26.6	24.9	22.6	20.1	25.6
MAXIMA MENSUAL	25.1	25.9	28.1	33.0	33.4	34.8	34.9	33.2	30.0	28.9	26.5	24.8	
AÑO DE MAXIMA	1957	1956	2000	1970	1968	1969	1969	1970	1956	1968	1955	1967	
MAXIMA DIARIA	36.5	34.0	36.5	39.0	40.0	40.5	39.5	37.0	37.5	39.0	34.5	31.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	12/1957	26/2009	31/1968	23/1970	27/1968	13/1970	11/1953	20/1956	05/1970	14/1974	01/1960	13/1978	
AÑOS CON DATOS	59	58	57	58	60	60	59	59	59	59	59	57	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	12.1	13.6	16.7	20.0	22.3	23.2	23.0	22.6	20.3	18.0	15.2	12.8	18.3
AÑOS CON DATOS	59	58	57	58	60	60	59	59	59	59	59	57	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	4.5	5.7	8.7	12.1	14.8	16.1	16.2	15.9	14.0	11.2	7.8	5.5	11.0
MINIMA MENSUAL	0.4	1.9	5.6	8.8	11.7	12.7	13.5	14.1	10.8	6.9	4.7	1.7	
AÑO DE MINIMA	1985	1960	1989	1987	1956	1956	1989	2000	1989	1989	1976	1989	
MINIMA DIARIA	-14.5	-10.5	-6.0	0.0	5.0	6.5	7.0	8.0	1.3	-3.0	-5.0	-11.0	
FECHA MINIMA DIARIA	12/1962	02/1951	04/1965	04/1960	05/1990	10/1991	26/2010	29/1988	24/2007	10/2000	29/1976	24/1983	
AÑOS CON DATOS	59	58	58	58	60	60	59	59	59	59	59	57	

Figura 18. Normales climatológica del Servicio Meteorológico Nacional para el Estado de Coahuila de Zaragoza.

Con las temperaturas medias, se obtuvo que, para esta zona geográfica, el mes más cálido es junio, mientras que el más frío es enero. Para efectos del cálculo, en el que nos solicita los días julianos, se seleccionó el día quince de cada uno de estos meses para ser analizado. Con ello, se logró determinar las temperaturas horarias medias mensuales al llenar una tabla elaborada por Fuentes (2009), a través del Anexo 3. Para la humedad relativa, mediante el Anexo 4.

A efecto de obtener la humedad relativa, para obtener la del interior del espacio, se requieren equipos especiales para tal fin, como se mencionó en el Capítulo 3 (44). Sin embargo, gracias a la estimación de humedades relativas, podemos conocer la humedad relativa del exterior, que puede ser contrastada con la norma ISO 17772, así como con los parámetros de Givoni que, como recordamos, son 30% como mínimo y 70% como máximo. Ya que la humedad relativa será la del exterior, no se requiere diferenciar los tipos de celdas.

En el caso de la radiación, solo se tuvo que indicar la latitud, longitud, altitud, meridiano de referencia y día juliano de análisis, con lo que se pudieron elaborar las tablas de ángulos solares —altura y azimut—, así como la radiación solar total incidente sobre la superficie, tanto para el mes de enero, como el mes de junio. Los créditos de dicha hoja de cálculo corresponden a Fuentes (2009).

Método de análisis de la calidad del ambiente interior
aplicado a un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios

Hora solar	Hora oficial	Altura	Azimut	Radiación solar Total	Hora solar	Hora oficial	Altura	Azimut	Radiación solar total
6.71	6.86	0.00	66.31	0.0	5.21	5.21	0.00	115.96	0.0
5.00					5.00				
6.00					6.00	6.00	9.77	111.24	23.3
7.00	7.14	3.55	64.40	1.9	7.00	7.00	22.61	106.03	147.7
8.00	8.14	15.36	56.82	75.8	8.00	8.00	35.77	101.36	355.6
9.00	9.14	26.06	47.18	220.2	9.00	9.00	49.14	96.85	604.1
10.00	10.14	34.96	34.65	380.7	10.00	10.00	62.64	91.92	838.6
11.00	11.14	41.08	18.66	503.7	11.00	11.00	76.18	84.23	1,005.4
12.00	12.14	43.29	0.00	549.5	12.00	12.00	87.85	0.00	1,065.8
13.00	13.14	41.08	-18.66	503.7	13.00	13.00	76.18	-84.23	1,005.4
14.00	14.14	34.96	-34.65	380.7	14.00	14.00	62.64	-91.92	838.6
15.00	15.14	26.06	-47.18	220.2	15.00	15.00	49.14	-96.85	604.1
16.00	16.14	15.36	-56.82	75.8	16.00	16.00	35.77	-101.36	355.6
17.00	17.14	3.55	-64.40	1.9	17.00	17.00	22.61	-106.03	147.7
18.00					18.00	18.00	9.77	-111.24	23.3
19.00					19.00				
17.29	17.43	0.00	-66.31	0.0	18.79	18.79	0.00	-115.96	0.0

Figura 19. Ángulos solares y radiación solar total incidente en el mes de enero.

Figura 20. Ángulos solares y radiación solar total incidente en el mes de junio.

Ahora bien, recordemos que la temperatura de comodidad dentro de una habitación, depende de la oscilación de la temperatura (Morales J. D., 2019) que es, como indica Fuentes (2009) “la diferencia entre las temperatura media del mes más cálido y el mes más frío del año”. Es por ello que primero se buscó la temperatura media mensual que, de acuerdo con las normales climatológicas, es de 12.1 °C a 23.2 °C. Al revisar la tabla de amplitud de la zona de confort, esta nos indica 2.5°C. Lo anterior, se deriva de la resta de 23.2 °C – 12.1 °C = 11.1, lo que corresponde a menos de 13.

Oscilación media de la temperatura del aire (°C)	Amplitud de la zona de confort (°C)
Menos de 13	2.5
13-15	3
16-18	3.5
19-23	4
24-27	4.5
28-32	5
33-37	5.5
38-44	6
45-51	6.5
Más de 51	7

Figura 21. Amplitud de la zona de confort de acuerdo con la oscilación de la temperatura.

A continuación se determinó la temperatura neutra, esto es, aquel rango de temperatura en el cual el individuo expresa satisfacción —térmica con el ambiente—, mediante la ecuación de Auliciems que calcula la temperatura neutra o ideal (Morales J. D., 2019).

$$T_n = (17.6 + 0.31 T_e)$$

Donde:

T_n = temperatura neutra

T_e = temperatura media mensual o normal

La ecuación de Auliciems se sustituyó para el mes de enero y junio respectivamente, en la que se sumó y restó 2.5 °C para conocer la temperatura mínima y máxima de la amplitud de la zona de confort. Lo anterior se realizó debido a que, para el cálculo de la temperatura interior del espacio cuando no se tienen datos medidos, se utiliza la temperatura mínima de la amplitud de la zona de confort.

Amplitud de la zona de confort												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
+	23.85	24.32	25.28	26.30	27.01	27.29	27.23	27.11	26.39	25.68	24.81	24.07
-	18.85	19.32	20.28	21.30	22.01	22.29	22.23	22.11	21.39	20.68	19.81	19.07

Figura 22. Amplitud de la zona de confort para Saltillo, Coahuila. Se utilizaron las temperaturas mínimas de los meses de enero —más frío— y junio —más cálido—.

Una vez obtenidos los datos anteriores, se puede iniciar el cálculo, tomando como punto de partida las 8:00 h. De este modo para el mes de enero, a las 8:00 h se tiene:

Temperatura ambiente	4.99 °C	277.65 °K
Temperatura interior	18.85 °C	292.24 °K
Humedad relativa	83%	
Radiación solar total incidente (global)	75.8 w/m ²	

Es importante indicar que, debido a que los cálculos se realizan con la temperatura en °K, nuestros datos en grados centígrados deben ser convertidos a dichas unidades.

Previamente en el inciso 4.1, se indicaron los materiales con los que están compuestas las celdas, pero el Anexo 2, complementa la información proporcionando las propiedades térmicas como la conductividad térmica y el calor específico. También se indican las propiedades ópticas en cuanto a su absorción y emitancia.

Algunos datos más para el cálculo térmico que nos proporciona la ASHRAE (1972) son los siguientes:

$$\text{Constante de Stefan Boltzman } (\sigma) = 5.669 \times 10^{-8} \text{ w/hrm}^3 \text{ } ^\circ\text{K}^4$$

$$\text{Coeficiente de convección del aire exterior (muros y ventanas) } h_e = 34.06 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Coeficiente de convección del aire exterior (techo) } h_e = 17.03 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (muros y techo) } h_i = 9.36 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (ventanas) } h_i = 9.08 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \text{ } ^\circ\text{K}$$

Además, para las celdas de internamiento se consideran actividades sedentarias, para tal cuestión el calor sensible de las personas es de 73 W, mientras que para el latente es 58 W para una actividad moderada según la (ASHRAE, 1972).

Con la información anterior, podemos iniciar el cálculo térmico. Para tal fin debemos obtener el flujo de calor por conducción Q_{cond} , la ganancia de calor por radiación solar Q_{shg} , el flujo de calor por infiltración Q_{inf} , el flujo de calor por ventilación Q_{vent} , la ganancia de calor por ocupantes Q_{met} y la ganancia de calor por equipo eléctrico Q_{light} .

Para el cálculo del flujo de calor por conducción Q_{cond} , la expresión matemática es la siguiente:

$$Q_{\text{cond}} = U * A (T_{\text{sa}} - T_{\text{int}})$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor

A = Área de la superficie

$T_{s/a}$ = Sol/aire = Temperatura del aire ambiente más el efecto de la radiación solar (directa y reflejada del cielo y los alrededores)

T_{int} = Temperatura del aire interior de la habitación

El valor U, que es el coeficiente global de transferencia de calor resulta de:

En cuanto a los muros,

La división de 1 entre la suma de las divisiones de 1 entre el coeficiente de convección del aire exterior (muros y ventanas)— h_e —; el espesor del muro entre la conductividad térmica del material, y 1 entre el coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (muros y techo) — h_i —.

Con respecto a las ventanas,

La división de 1 entre la suma de las divisiones de 1 entre el coeficiente de convección del aire exterior (muros y ventanas) — h_e —; el espesor del cristal entre la conductividad térmica del material, y 1 entre el coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (ventanas) — h_i —.

En el caso de techos,

La división de 1 entre la suma de las divisiones de 1 entre el coeficiente de convección del aire exterior (techo) — h_e —; el espesor de la losa entre la conductividad térmica del material, y 1 entre el coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (muros y techo) — h_i —.

Recordemos que la ecuación también calcula la temperatura sol-aire T_{sa} :

$$T_{sa} = T_{amb} + \frac{\alpha * Ht}{h_o} - \frac{\varepsilon * DR}{h_o} \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Donde:

T_{amb} = Temperatura ambiente

α = absorptancia de la superficie

Ht = radiación solar global (medida en el plano horizontal)

h_o = coeficiente de convección más radiación

ε = emitancia de la superficie

DR = diferencia entre la radiación de onda larga incidente sobre la superficie, que proviene de cielo y medio ambiente y la radiación emitida por un cuerpo negro a la temperatura del aire exterior.

De la anterior ecuación la α y ε son datos precisos que obtenemos de la ASHRAE Handbook Fundamentals (1972), los cuales son:

Material	Absortancia α	Emitancia ϵ
Muros y techo	0.80	0.99
Vidrio	0.15	0.94

En cuanto a DR, este valor se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$DR = \sigma * \left[\left(\frac{1 + \cos SLP}{2} \right) * (T_{sky}^4 - T_{amb}^4) + \left(\frac{1 - \cos SLP}{2} \right) * (T_{surr}^4 - T_{amb}^4) \right]$$

Donde:

σ = constante de Stefan-Boltzman —5.6669 E-08 watts/hr m²K⁴—

SLP = ángulo de techumbre respecto a la horizontal. (En un techo inclinado se obtendrá el ángulo de la inclinación. Se calcula si hay nubes de lo contrario equivale a cero).

T_{sky} = temperatura del cielo —0.0552 * $T_{amb}^{1.5}$ —.

T_{amb} = temperatura ambiente

T_{surr} = temperatura de los alrededores — $t_{amb} + 10^\circ K$ —. (Se calcula si se tienen pavimentos, en caso de jardines o espejos de agua el valor es cero).

Con respecto a h_o , se obtiene mediante la ecuación:

$$h_o = h_w + h_{ir}$$

Donde:

h_w = coeficiente de convección = 32.7 + (13.7 * velocidad del viento en m/s) w(KJ/m²K).

$h_{ir} = 4\sigma\epsilon T^4$ (La T es el resultado de la temperatura ambiente más la temperatura de la pared)

En el caso de h_{ir} , se debe tener la temperatura de la pared, para lo cual se deben conocer varios datos para calcular el flujo de calor por conducción en un muro:

T_i = temperatura interior

T_{si} = temperatura de la superficie interior del muro

T_{se} = temperatura de la superficie exterior del muro

T_e = temperatura del exterior

Ecuación 1

QK = calor que se transmite por conducción en el muro, determinado por la ecuación:

$$QK = \frac{e}{k} * A (T_{si} - T_{se})$$

Ecuación 2

Q_{hi} = calor por convección del aire interior, mediante la ecuación:

$$Q_{hi} = h_i * A (T_i - T_s)$$

Ecuación 3

Q_{he} = calor por convección del aire exterior, con la ecuación:

$$Q_{he} = h_e * A (T_{se} - T_e)$$

En las ecuaciones anteriores se despeja la diferencia de temperaturas, por lo que nos quedan:

Ecuación 1

$$\frac{Q}{A} * \frac{1}{h_i} = T_i - T_{si}$$

Ecuación 2

$$\frac{Q}{A} * \frac{e}{K} = T_{si} - T_{se}$$

Ecuación 3

$$\frac{Q}{A} * \frac{1}{h_e} = T_{se} - T_e$$

Vemos que en las cuatro ecuaciones tenemos como factor común $\frac{Q}{A}$, además de T_{si} y T_{se} que tienen signo positivo y negativo por lo que se eliminan, y se tiene como única ecuación para el flujo de calor Q :

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{K} + \frac{1}{h_e}} * A (T_i - T_e)$$

Con el resultado de Q , podemos obtener la temperatura de la superficie exterior e interior, esto mediante el despeje de ambas en las ecuaciones 2 y 3 respectivamente.

Ecuación 2

$$\frac{Q}{A} * \frac{e}{K} + T_{se} = T_{si}$$

Ecuación 3

$$\frac{Q}{A} * \frac{1}{h_e} + T_e = T_{se}$$

El desarrollo de todas las ecuaciones anteriores nos proporciona los datos necesarios para obtener h_{ir} , con el que se resuelve el coeficiente de convección más radiación — h_o —, que como recordamos, conforma la ecuación de la temperatura sol-aire — T_{sa} —. Asimismo, otro valor a calcular es la radiación solar global medida en el plano horizontal — H_t —, como leemos, solamente se realiza en el plano horizontal, por lo que para muros y ventanas el valor es cero, como lo indica la (ASHRAE, 1972).

Recordemos que la radiación solar global, así como los ángulos solares —altura solar y azimut— es información que se obtuvo anteriormente de la tabla de cálculo de Fuentes (2009). Ahora bien, en cuanto al azimut y altura solar, ambos deben ser tomados de manera perpendicular para, posteriormente, realizar la función trigonométrica de coseno en ambos ángulos. Es importante aclarar que, para la altura solar, el ángulo que nos proporciona la tabla está indicado de manera perpendicular, ya que la altura solar es el ángulo que se mide desde el horizonte hasta el centro del sol, por lo que el horizonte ya nos genera una perpendicular. En el caso del azimut la condición es diferente, puesto que, en este caso, sí debemos trazar una perpendicular. Un método para conocer este ángulo es, para las orientaciones este y oeste, restar o sumar 90° al valor de la tabla de cálculo, según sea el caso —la tabla de cálculo de Fuentes (2009) nos indica *este* positivo (+), *oeste* negativo (-), *sur* igual a cero, y *norte* igual a 180° . Para orientaciones norte y sur se quedará con el mismo valor de la tabla de cálculo. Es decir, se restaron -90° , pues la orientación analizada es la oeste.

Los cálculos previamente planteados nos permiten determinar la temperatura sol-aire, y a su vez, el flujo de calor por conducción, lo cual se describe por cada hora del día analizado, tanto el más frío como el más cálido en el Anexo 5.

Otro valor necesario para el cálculo es el correspondiente a la ganancia de calor por radiación solar, que está definido de la siguiente manera:

$$Q_{shg} = A_v * F_c * H_t$$

Donde:

A_v = Área de la ventana

F_c = Fracción de la radiación solar que pasa por la ventana —aquí se debe considerar si existe obstrucción de aleros o partesoles, por lo tanto, el valor es 0.25 y la transmitancia del vidrio, por ejemplo, para un vidrio claro es de 0.80—.

Es importante indicar que tanto en la temperatura sol-aire como en la ganancia de calor por radiación solar solo se consideró el calor sensible, puesto que únicamente se ha producido un cambio de temperatura al interior del espacio, pero la humedad ha quedado sin modificación. Sin embargo, para conocer las condiciones de la humedad, se debe calcular

el flujo de calor por infiltración y por ventilación, en los que se analiza el calor sensible como el latente. La ecuación del flujo de calor por infiltración tanto sensible como latente son:

Flujo de calor por infiltración sensible,

$$Q_{infs} = 0.278 * camb * vol * p * Cpa (Tamb - Tcuarto)$$

Flujo de calor por infiltración latente,

$$Q_{infl} = 0.278 * camb * vol * p * Hvap (Wamb - Wcuarto)$$

Donde:

0.278 = factor de conversión Kj a W

Camb = número de cambios de aire por hora

Vol = volumen del espacio

p = densidad del aire = 1.18 K/m³

Cpa = calor específico del aire = 1.0065 kj/kg°K

Hvap = calor latente de vaporización = 2468 kj/kg°K

Wamb = humedad específica ambiente (kg agua/ kg aire seco)

Wcuarto = humedad específica del cuarto (kg agua/ kg aire seco)

En cuanto al número de cambios de aire por hora, la información se obtiene del ASHRAE Handbook Fundamentals (1972), como a continuación se presenta.

Cambios de aire por hora	Single glass, no weather-strip	Storm sash or weather-strip
Ventanas o puertas exteriores en uno de los lados	1	0.7
Ventanas o puertas exteriores en dos de los lados	1.5	1
Ventanas o puertas exteriores en tres de los lados	2	1.3
Pasillos de acceso	2	1.3

En cuanto a la humedad específica del ambiente y del cuarto se obtiene del diagrama psicrométrico (Herramientas de Ingenierías, 2021). Con los datos que tenemos de la temperatura y humedad absoluta el diagrama determina la humedad específica.

Para la humedad específica del ambiente, tomamos la temperatura y humedad de la hora que estamos analizando, y esa será la humedad específica de dicha hora, mientras que, para la humedad específica del cuarto, tomamos la temperatura y humedad de la hora anterior.

Por lo que concierne al flujo de calor por ventilación, la ecuación que lo determina es:

Flujo de calor por ventilación sensible

$$Q_{vents} = 0.278 * p * C_{pa} * G * (T_{amb} - T_{cuarto})$$

Flujo de calor por ventilación latente

$$Q_{ventl} = 0.278 * p * H_{vap} * G * (W_{amb} - W_{cuarto})$$

Donde:

0.278 = factor de conversión Kj a W

p = densidad del aire = 1.18 K/m³

C_{pa} = calor específico del aire = 1.0065 kj/kg°K

W_{amb} = humedad específica ambiente (kg agua/ kg aire seco)

W_{cuarto} = humedad específica del cuarto (kg agua/ kg aire seco)

G = flujo de aire en m/s, el cual se calcula mediante la ecuación:

$$G = C_v * A * v * 3600$$

Donde:

C_v = efectividad de abertura de la ventana, 0.55 a 0.65 para vientos perpendiculares a la ventana y 0.25 a 0.35 para vientos oblicuos a la ventana.

A = área libre de abertura en m². Depende de si se pueden abrir o no, si son corredizas o abatibles.

v = velocidad del viento en m/s. Si no se tiene dicho dato, se puede asumir el más bajo de 1.5 m/s.

3600 = el cálculo del flujo de calor es de una hora, por lo que se multiplica por los 3600 segundos que tiene una hora.

Recordemos que el actor más importante al interior de un espacio y por el que se buscan ciertas condiciones de ambiente higrotérmico es el ocupante. El número de personas y las actividades que realizan permitirán realizar el cálculo de la ganancia de calor por ocupantes. Tanto para el calor sensible como latente de los ocupantes, se utiliza la misma ecuación, lo único que cambia son los watts *W* por persona para cada caso. Dicha información se obtuvo de la (ASHRAE, 1972).

$$Q_{met} = W / \textit{persona} * \textit{número de personas}$$

Como se había comentado en la introducción de este capítulo, el descanso es la actividad primordial de las personas privadas de la libertad en el área de alojamiento, aunque eventualmente pueden llegar a leer o escribir. Por ello, para efectos de ampliar el criterio, el cálculo de ganancia de calor por ocupantes considera leer o escribir como actividades realizadas en las celdas de internamiento.

Finalmente, se calculan las ganancias de calor por equipo eléctrico como luminarios o cualquier otro equipo que consuma potencia eléctrica, ya que esto se transforma en el espacio como calor. La ecuación para dicho cálculo es:

$$Q_{light} = W / \textit{por equipo} * \textit{número de equipos}$$

Una vez que tenemos todas las cargas térmicas, se realiza la suma total que da como resultado Qload. Aquí se suman tanto el calor sensible como el latente.

$$Q_{load} = Q_{cond} + Q_{shg} + Q_{inf} + Q_{vent} + Q_{met} + Q_{light}$$

Si el Qload es negativo, tenemos carga por calentamiento, mientras que si es positivo la carga es por enfriamiento.

Recordemos que lo que se está buscando en todo este cálculo es la temperatura al interior del espacio debido a que, al no tener equipos de medición, el método fue el uso de las ecuaciones matemáticas antes descritas.

La temperatura del cuarto en una hora determinada es igual a la temperatura del cuarto en el instante anterior —como el cálculo es horario, el instante anterior es la hora anterior—, más la suma de cargas térmicas dividida entre la capacidad de almacenamiento denominada capacitancia (Morales J. D., 2019). Es decir:

$$T_{cuarto} = T_{cuarto}(\textit{de la hora anterior}) + (Q_{load}/\textit{capac})$$

Donde:

Tcuarto = Es la temperatura que se consideró la hora anterior, en este caso a las 8:00 am, y que se ajustó para hacer una curva continua una vez que se calcularon todas las horas

Qload = Suma de las cargas térmicas Qcond, Qshg, Qinf, Qvent, Qmet, Qlight.

capac = la capacitancia, que es la relación de la masa y el calor específico de los materiales, y que se debe convertir a $w/^{\circ}C$ dividiéndola entre 3.6.

En el Anexo 6, Anexo 7, Anexo 8, Anexo 9, Anexo 10 y Anexo 11, se muestran los resultados de todas las temperaturas horarias para el mes más cálido y el más frío que fueron obtenidas a partir del método matemático antes descrito. Posteriormente en el Capítulo 5, se analizan y comparan dichos datos con respecto a la norma ISO 17772 y la ecuación de Auliciems.

4.3 Calidad del aire

Para la norma ISO 17772, la calidad del aire interior corresponde a las tasas de flujo de aire de ventilación de diseño, cuyo cálculo nos presenta tres métodos: método basado en la calidad del aire percibida, método que utiliza valores límite de concentración de sustancia y método basado en caudales de ventilación predefinidos. Para el desarrollo de esta investigación, se utilizará el método basado en la calidad del aire percibida y el de valores límite de concentración de sustancia.

El método de la calidad del aire percibida calcula la tasa de ventilación a partir de dos componentes (a) ventilación para eliminar la contaminación de los ocupantes — bioefluentes— y (b) ventilación para eliminar la contaminación del edificio y los sistemas. Por lo tanto, la tasa de ventilación depende de la densidad de ocupación y el tipo de edificio.

Berenguer (s.f.) explica que para entender los bioefluentes, debemos referirnos a un *olf*, que es la unidad de medida con respecto a una persona sedentaria que tiene un estándar higiénico equivalente a 0.7 baños/día. Su aplicación entonces se expresa en número de *olfs*, es decir, en número de personas necesarias dentro de un espacio para que el aire resulte inaceptable.

Ahora bien, dado que la calidad del aire depende de la fuente contaminante y la dilución de esta mediante la ventilación, otro término importante es el *decipol*, que son los bioefluentes —*olf*— con una tasa de ventilación de aire no contaminado de 10 l/s. En otras palabras, es la calidad del aire percibida cuando se tiene un *olf* ventilado con 10 l/s de aire no contaminado.

También debemos hablar de la ventilación para eliminar la contaminación del edificio. Se dice que el edificio está poco o muy poco contaminado si al menos el 80% de los materiales interiores son de baja o muy baja emisión, como, por ejemplo, la piedra, el vidrio y la cerámica (ISO, 2018). Para ello, el acabado de las superficies interiores debe cumplir con los criterios nacionales e internacionales de materiales muy poco contaminantes. Además, se debe considerar que las actividades que se realizan dentro del edificio no resulten en la contaminación de este, como por ejemplo fumar.

Una vez dicho lo anterior, el cálculo para la calidad del aire percibida se realiza con la siguiente ecuación:

$$Q_{tot} = n * q_p + A_R * q_B$$

Q_{tot} = es la tasa de ventilación total para la zona de respiración, l / s;

n = es el valor de diseño para el número de personas en la habitación;

q_p es la tasa de ventilación por ocupación por persona, l / (s * persona);

A_R es el área del piso, m^2 ;

q_B es la tasa de ventilación de las emisiones del edificio, l / (s * m^2).

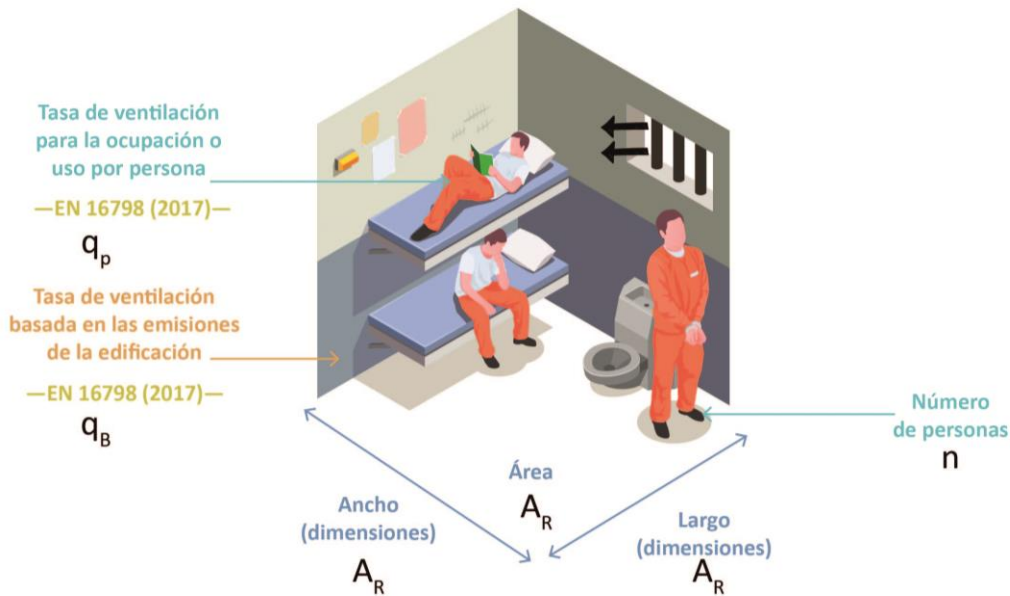


Figura 23. Aspectos por analizar en el método de calidad del aire percibido. Elaboración propia

Para los valores de q_p se hace uso de la siguiente tabla:

Categoría	Porcentaje esperado de insatisfechos	Flujo de aire para personas no adaptadas (l/s/persona)	Flujo de aire para personas adaptadas (l/s/persona)
I	15	10	3.5
II	20	7	2.5
III	30	4	1.5
IV	40	2.5	1.0

Figura 24. Tasas de ventilación de diseño para diluir emisiones (biofluentes) de personas sedentarias, adultas, adaptadas y no adaptadas, para diferentes categorías. Tomado de la Norma ISO 17772-2

Para los valores de q_p se hace uso de la siguiente tabla:

Categoría	Edificio muy poco contaminante	Edificio poco contaminante	Edificio no poco contaminante
I	0.5	1	2
II	0.35	0.7	1.4
III	0.2	0.4	0.8
IV	0.15	0.3	0.6

Figura 25. Tasas de ventilación de diseño para diluir emisiones de diferentes tipos de edificios.
Tomado de la Norma ISO 17772-1

Con la información antes descrita, se aplicó la ecuación y valores de las tablas en el prototipo de celdas —mínima (5,7,9 personas), mediana (3,5,7 personas), y máxima (1,3,5 personas) seguridad—, lo que mostró la tasa de flujo de aire de ventilación requerida, de acuerdo con las dimensiones del espacio y el número de personas. Es importante destacar que se realizaron los cálculos considerando un edificio poco contaminante para estar en condiciones promedio, y para un flujo de aire tanto para personas adaptadas como personas no adaptadas, con el propósito de conocer cuál es la tendencia en ambos casos. Los resultados se presentan en la Figura 37 y Figura 38 los cuales son contrastados con el método de valores límite de concentración de sustancia, con la intención de analizar la correlación de ambos métodos.

Para el método de valores límite de concentración de sustancia, el indicador principal son las personas, aunque también se consideraron las emisiones del edificio, por lo tanto, la sustancia a observar es el CO₂. En este caso, la norma ISO categoriza la concentración de CO₂ de la siguiente manera:

Categoría	Concentración de CO ₂ correspondiente por encima del aire exterior en ppm para personas no adaptadas
I	550 (10)
II	800 (7)
III	1350 (4)
IV	1350 (4)

Nota: Los valores anteriores corresponden a la concentración de equilibrio cuando el caudal de aire es de 10, 7 y 4 l/s por persona para las categorías I, II, III y IV, respectivamente, y las emisiones de CO₂ son de 20 l/h por persona.

Figura 26. Concentración de CO₂ de diseño por defecto por encima de la concentración exterior asumiendo una emisión de CO₂ estándar de 20 l/(h por persona). Tomado de la Norma ISO 17772-2

Recordemos que la OMS permite un máximo de 1000 ppm para ambientes saludables, lo que corresponde a 1.5% de aire que ya ha sido respirado. Lo anterior parte del hecho de que el aire exterior contiene 412 ppm, lo que significa 0% de aire que ya ha sido respirado. Por otro lado, 800 ppm (que pertenece a categoría II de la norma), de acuerdo con la Figura 27, ya se considera de riesgo.

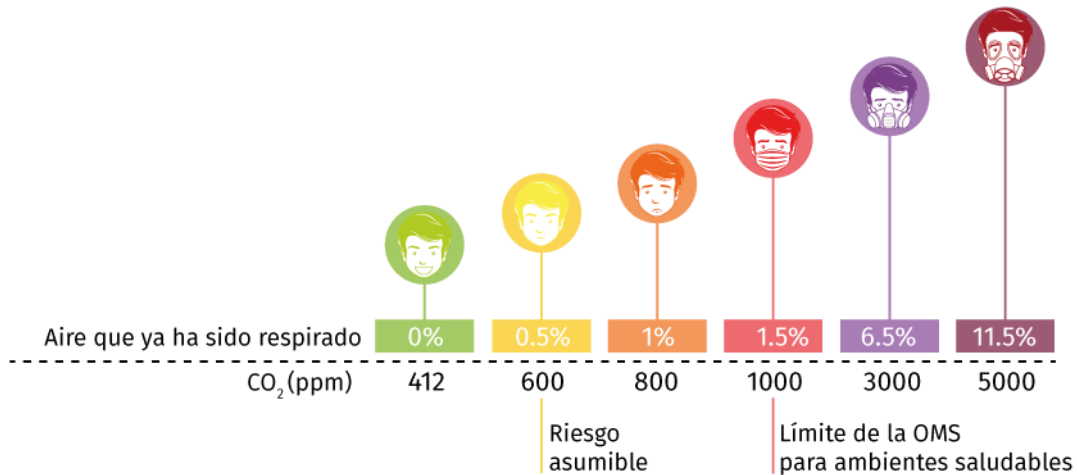


Figura 27. Relación de CO₂ y porcentaje de aire respirado. Elaboración propia. Tomado de (Zafra & Salas, 2021)

La Figura 27 nos muestra la relación entre el CO₂ y el porcentaje de aire respirado. Dicha información se comparó con los requerimientos de la tasa de flujo de aire para los tres tipos de celdas que se obtuvieron del método basado en la calidad del aire percibida. Para ello, se propone la siguiente ecuación elaborada a partir de la explicación de cómo *revisar los requerimientos de aire fresco por persona* presentados en la conferencia *Ventilación y filtración de aire para prevenir contagios por COVID-19 en espacios interiores*, impartida por Cano (2022):

$$Q_r = (q_{pr} * 100) / (q_{pB} / n * 60)$$

Q_r = es el porcentaje de aire respirado;

q_{pr} son los litros de aire respirado por minuto. El valor tomado puede ser entre 6 y 10 litros. (Las personas sedentarias respiran de 12 a 20 veces por minuto y cada respiración equivale a 0.5 litros de aire. Por lo tanto, respiran entre 6 y 10 litros de aire por minuto).

100 es la constante para convertir el valor a porcentaje;

q_{pB} es el total de litros de aire, resultado del cálculo para la calidad del aire percibida;

n número de personas en el espacio;

60 es la constante para convertir segundos a minutos;

A manera de ejemplo, se describirá el cálculo para la tasa de flujo de aire de la celda de mediana seguridad con 3 personas. Para q_{pr} tomaremos el número más desfavorable de 10 litros. La Figura 37 nos dice que el flujo de aire para personas adaptadas en categoría I es de 20.7 l/s, dicho valor se sustituye para el valor q_{pB} de la ecuación y posteriormente se realiza la división que nos indica la ecuación. La división del total de litros de aire entre el número de personas se debe a que ese total es para todas las personas, y en la ecuación requerimos conocer los l/s por cada persona.

$$Q_r = (10 * 100) / (20.7 / 3 * 60)$$

$$Q_r = 2.42\%$$

Al comparar el resultado de 2.42% con la Figura 27, observamos que se encuentra por encima de las 1000 ppm de límite que indica la OMS para considerar que es un ambiente saludable, ya que el porcentaje ronda en las 1500 ppm, lo que quiere decir que también las condiciones de la celda están fuera de los valores estipulados por las categorías de la norma ISO.

La misma ecuación se aplicó en los 3 tipos de celda, con la sobrepoblación correspondiente, en todas las categorías de la norma tanto para personas adaptadas como personas no adaptadas, con el propósito de conocer cuál es la tendencia en ambos casos que se presenta en los Anexo 12, Anexo 13 y Anexo 14.

4.4 Iluminación

Como se explicó en el inciso 2.3.3 (34) la iluminación depende de las actividades que se realicen dentro del espacio. Para el presente análisis, se debe considerar una iluminación adecuada para el área de alojamiento de los internos. En este lugar, las personas privadas de la libertad pernoctan primordialmente, pero eventualmente pueden hacer otras actividades visuales como leer y escribir. La norma ISO 17772 presenta una tabla en la que especifica la cantidad de luxes (valores absolutos) necesaria para algunos edificios y espacios según la norma EN 12464-1:2011; y otra que es la que se utilizó, ya que clasifica la disponibilidad de la luz natural en función del factor de luz natural (porcentaje), como lo muestra la Figura 28.

Iluminación en fachadas verticales Factor de luz de día $DC_{a,j}$	Iluminación cenital Factor de luz de día $DSNA$	Clasificación de la disponibilidad de luz natural*
$DC_{a,j} \geq 6\%$	$7\% < DSNA^a$	Alta
$6\% > DC_{a,j} \geq 4\%$	$7\% > DSNA \geq 4\%$	Media
$4\% > DC_{a,j} \geq 2\%$	$4\% > DSNA \geq 2\%$	Baja
$DC_{a,j} < 2\%$	$2\% > DSNA \geq 0\%$	Nula

^a Valores de $DSNA > 10\%$ deberían evitarse debido a que se pueden presentar problemas de sobrecalentamiento.

$DC_{a,j}$ – Cociente de luz diurna del área calculada.

$DSNA$ – Cociente de luz diurna, sin considerar protección solar.

*Complementada con (Olesen, 2017).

Figura 28. Clasificación de la disponibilidad de luz natural en función del factor de luz natural $DC_{a,j}$ de las aberturas de la envolvente del edificio en bruto y del cociente de luz diurna, sin considerar protección solar. Tomado de la Norma ISO 17772-1, y complementada con (Olesen, 2017).

Para Tregenza y Wilson (Guadarrama, 2021) de acuerdo con el factor de luz natural promedio se tiene cierto ambiente lumínico al interior del espacio, de la siguiente manera:

FLNP	Carácter del espacio con respecto al ambiente lumínico sin luz eléctrica	Carácter del espacio con respecto al ambiente lumínico con luz eléctrica
Menos del 1%	El lugar se ve generalmente oscuro, las ventanas pueden generar brillo, dado el contraste con el espacio oscuro.	Si es un lugar de trabajo, la iluminación eléctrica es necesaria tanto para llevar a cabo las tareas visuales y para iluminar la habitación en general. Cuando las luces se encienden, aún en la presencia de luz natural, el espacio no tiene el aspecto de estar iluminado con luz natural.
2-4%	La luz natural puede proporcionar la iluminación general de las superficies del espacio. En áreas lejanas a la ventana la iluminación natural puede ser pobre.	La luz eléctrica será necesaria durante el día como complemento a la iluminación requerida para la mayoría de las tareas visuales. El espacio se verá principalmente iluminado con luz natural aún con el suplemento de luz eléctrica.
5%	La luz natural en el espacio es intensa. Puede existir incomodidad visual y térmica si la superficie de la ventana es grande.	La iluminación eléctrica adicional durante el día no suele ser necesaria.
Más del 5%	Es probable que se produzca una incomodidad térmica, como resultado de los grandes cambios de temperatura exterior. La apariencia del espacio se parece a la de un espacio casi en el exterior, parecido a un invernadero.	La iluminación eléctrica adicional durante el día no suele ser necesaria.

Figura 29. Factor de luz de día promedio con aperturas laterales en climas templados de acuerdo con Tregenza y Wilson (Guadarrama, 2021).

Para la presente investigación, resulta factible el uso del método de clasificación de la disponibilidad de luz natural, debido a que se tienen los datos necesarios para realizar dicho cálculo. Por otro lado, a consecuencia de los cambios de iluminación natural que se tienen durante el día, es más conveniente conocer el porcentaje de luz natural al interior, resultado de las variaciones que se estén dando al exterior (Valeriano, 2010).

Además, recordemos la importancia que tiene la luz natural para el estado físico y psicológico de las personas. Dicho lo anterior, se utilizó la ecuación de Szokolay, que proporciona el porcentaje de iluminación interna respecto a la iluminación externa, y que

se conoce como Factor de Luz de Día. Es importante indicar que dicho cálculo, excluye la luz directa del sol, y se toma a partir de un cielo totalmente nublado. (Guadarrama, 2021)

$$FLDP = \frac{A_g}{A} \frac{\theta * \tau}{(1 - p^2)}$$

A_g = área vidriada de las ventanas;

A = Total de todas las superficies que engloban el espacio interior;

θ = Ángulo visible del cielo;

τ = Transmitancia de los vidrios a la luz difusa, incluyendo el factor de suciedad;

Un vidrio simple o sencillo = 0.8

Un vidrio claro doble = 0.7

Un vidrio de baja emisión doble = 0.65

p = reflectancia promedio de las superficies del espacio interior. Datos obtenidos de IESNA;

Espacio con techo blanco y con paredes en colores claros = 0.5;

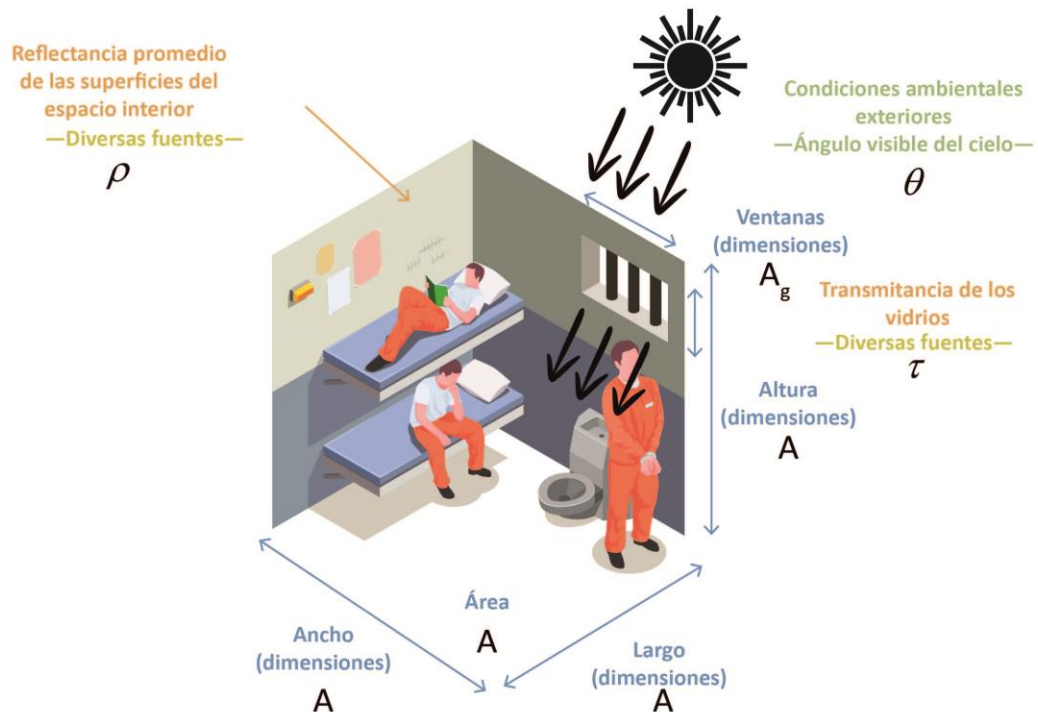


Figura 30. Aspectos por analizar en el método de factor de luz de día. Elaboración propia

4.5 Sonido

La norma ISO 17772, trata de manera primordial las condiciones de ruido resultado del sonido continuo equivalente de los equipos en funcionamiento continuo, por ejemplo, los destinados a la ventilación, calefacción y/o aire acondicionado. Sin embargo, como se indicó en el ambiente higrotérmico, no se considerarán sistemas mecánicos de calefacción o refrigeración.

Con la intención de realizar una evaluación de la calidad del ambiente interior respecto al sonido, nos remontamos al capítulo 3 (51) en el que se mencionó un concepto denominado *tiempo de reverberación*, el cual utiliza la norma de manera somera para conocer la absorción acústica de la habitación.

El anexo F de la segunda parte de la norma nos dice que el tiempo de reverberación se supone de 0.5 s, para un volumen de habitación de hasta 150 m³, de lo contrario se puede calcular de acuerdo con las dimensiones y características de la habitación o según las regulaciones específicas, si las hubiera.

El tiempo de reverberación es el tiempo que tarda el sonido emitido en desaparecer después de que ya no exista el foco sonoro, esto es que el nivel de intensidad disminuya en 60 dB (García & Hernández, 2010). Esto nos lleva a la ecuación de Sabine, la cual calcula de manera aproximada el tiempo de reverberación en una sala o recinto determinados:

$$T = 0.161 * V / A$$

T = tiempo de reverberación en segundos;

V = volumen de la sala en cuestión en m³;

A = área de absorción equivalente en m²;

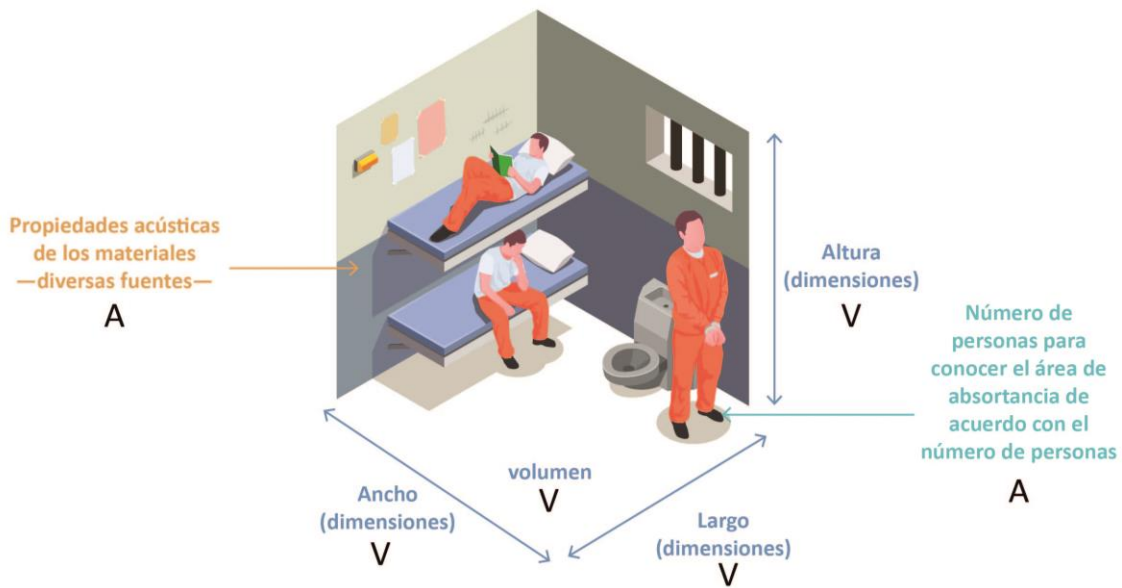
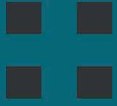


Figura 31. Aspectos por analizar para el método de cálculo del tiempo de reverberación

La ecuación requiere de dos valores: por un lado, el volumen de cada celda, y por otro, el área de absorción equivalente en m^2 . Para el área de absorción equivalente es necesario conocer el área de cada superficie y el coeficiente de absorción del material, que se obtiene a partir de tablas con dichos valores o directamente con el proveedor. En este caso, el coeficiente se obtuvo de una tabla (Saad, 1996), con una frecuencia de 500 Hz.

Como se indicó en las características del prototipo, la envolvente se compone de muros de concreto armado y reja electrosoldada para la puerta. En cuanto a la ventana, lámina de policarbonato y protección metálica.

Para el coeficiente de absorción de los muros de concreto armado se consideró como un concreto sin pintar, en cuanto a la reja electrosoldada se tomó el valor para sillas de metal, mientras que la lámina de policarbonato se supuso como vidrio. Todos los cálculos se muestran en el Anexo 18, Anexo 19 y Anexo 20.



CAPÍTULO 5

APLICACIÓN DEL MÉTODO Y RESULTADOS OBTENIDOS

“Suele decirse que nadie conoce realmente cómo es una nación hasta haber estado en una de sus cárceles.

Una nación no debe juzgarse por cómo trata a sus ciudadanos con mejor posición, sino por cómo trata a los que tienen poco o nada.”

Nelson Mandela



Capítulo 5. Aplicación del método y resultados obtenidos

Los resultados derivados de la aplicación del método de análisis por ecuaciones matemáticas se presentan de manera independiente por cada aspecto físico de la calidad del ambiente interior para después conjuntarlos en un polígono de resultados. El polígono de resultados tiene 5 lados, uno por cada aspecto de la calidad del ambiente interior. A su vez, cada sección del polígono se divide en 4 partes que corresponden a cada una de las categorías de la norma ISO 17772. De manera más gráfica se ha utilizado un color diferente para cada categoría. A manera de aclaración la escala de colores no representa un valor positivo o negativo, simplemente indica en qué categoría de la norma se encuentra el aspecto físico analizado.

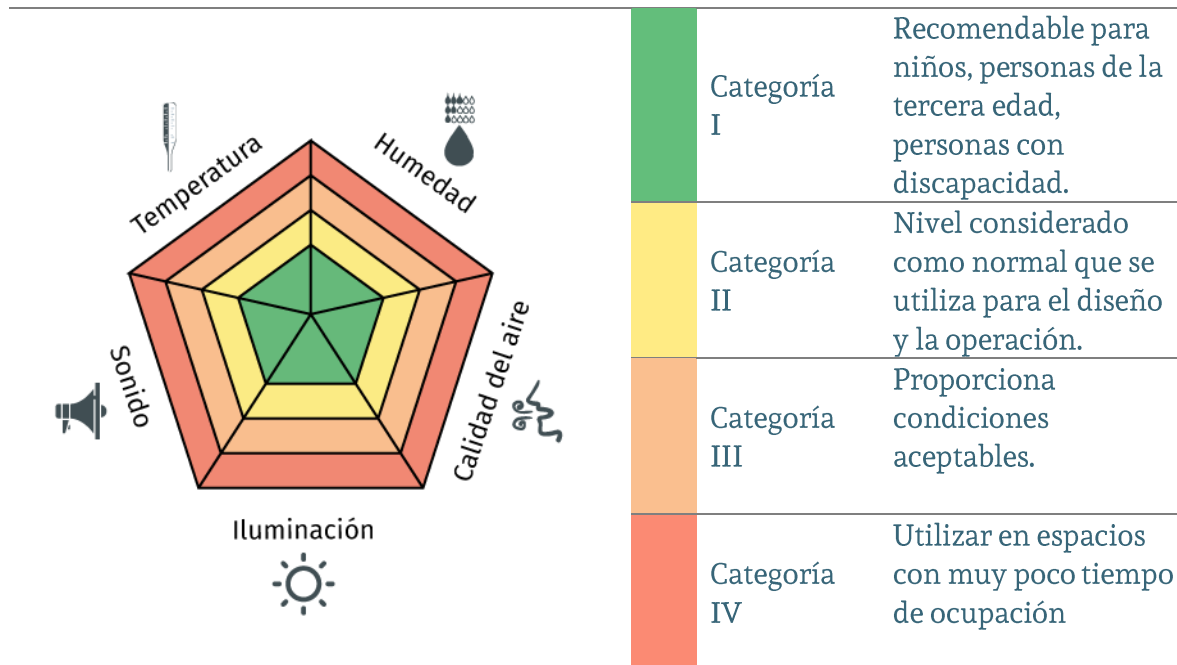


Figura 32. Polígono de resultados de la calidad del ambiente interior

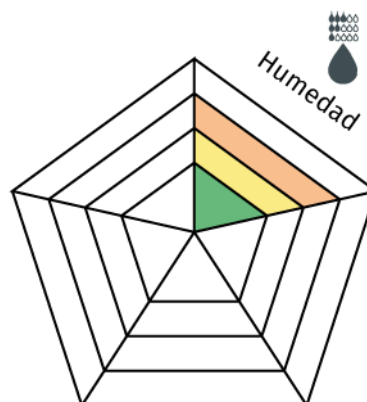
A continuación, se presenta la construcción del polígono de resultados por cada aspecto para, posteriormente generar un solo polígono que conjunte todos los factores de la calidad del ambiente interior.

5.1 Humedad

	Humedad relativa exterior. Cálculo basado en la tabla de (Fuentes, 2009)	Humedad relativa de diseño para deshumidificación % ISO 17772 (datos tomados de la Figura 16)(68)	Humedad relativa de diseño para humidificación % ISO 17772 (datos tomados de la Figura 16)(68)	Humedad relativa de acuerdo con Givoni
Temporada frío (enero)	Mínima 37%	50% Cat.I	30% Cat.I	30% a 70%
	Media 61%			
	Máxima 85%			
Temporada calor (junio)	Mínima 43%	60% Cat.II	25% Cat.II	
	Media 66%			
	Máxima 89%			
		70% Cat.III	20% Cat.III	

37% - 89%

Rango de humedad relativa calculada en las celdas.



Análisis de resultados

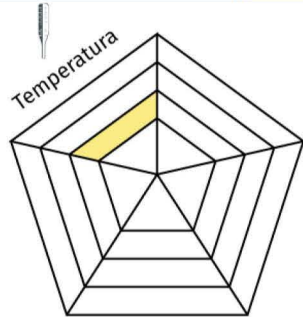
Como se planteó en el capítulo anterior, la humedad relativa que se analizó fue la exterior. Mediante el Anexo 4 se conocieron los porcentajes de humedad para cada hora. De la 1 am a las 8 am, la humedad se encontró por arriba del 70%. A partir de las 9 am hasta las 11 pm, la humedad se mantiene dentro del rango de 40% a 60%, lo que se considera para Givoni como adecuado, y en el caso de la norma ISO, en una categoría II en deshumidificación y categoría I en humidificación.

Es importante considerar que las personas privadas de la libertad indudablemente permanecen en las celdas durante la noche-madrugada cuando la humedad relativa se encuentra por arriba del 70%, lo que puede provocar que el ambiente en ese periodo de horas esté comprometido si no se realizan las estrategias de diseño adecuadas al interior del espacio. Es decir, la estrategia en este caso deberá ser la deshumidificación, para estar dentro del parámetro del 30% a 70%. Sin embargo, si se desea cumplir con la norma con una categoría I, la deshumidificación deberá ser mucho mayor, por lo que es posible que se requieran equipos mecánicos.

Figura 33. Resultados del porcentaje de humedad relativa exterior en contraste con la humedad relativa de diseño de la norma ISO 17772 y Givoni.

5.2 Temperatura

En cuanto a la temperatura, como se comentó en un inicio, se realizó el cálculo para todas las horas del día, tanto para el mes más frío como para el más cálido —Ver Anexo 6, Anexo 7, Anexo 8, Anexo 9, Anexo 10 y Anexo 11— de cada uno de los tipos de celdas. Dichas oscilaciones de temperatura se contrastaron con la Figura 14, así como con la Figura 22. Para una mejor comprensión se presenta la Figura 34 y Figura 35.

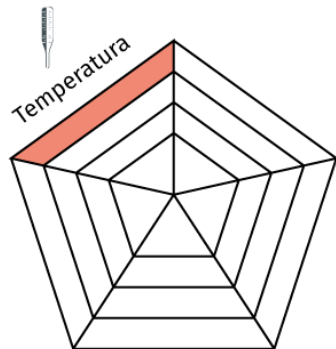
Temporada de calor (junio)			
Tipo de celda	Temperatura interior. Cálculo basado en el método simplificado de (Morales J. D., 2019)	Valores de diseño para la temperatura operativa interior ISO 17772 (datos tomados de la Figura 14)	Zona de confort calculada a partir de ecuación de Auliciems (datos tomados de la Figura 22)
Mínima (15.02 m²)		26.5 °C confort	22.29 °C – 27.29 °C
5 personas	28.29 °C – 29.25 °C		
7 personas	28.29 °C – 29.33 °C		
9 personas	28.29 °C – 29.41 °C	23.5 °C – 28.5 °C Cat. I	
Mediana (10.20 m²)			
3 personas	28.29 °C – 29.35 °C		
5 personas	28.29 °C – 29.46 °C	22.5 °C – 29.5 °C Cat. II	
7 personas	28.29 °C – 29.57 °C		
Máxima (5.40 m²)			
1 personas	27.93 °C – 29.53 °C	21.5 °C – 30.5 °C Cat. III	
3 personas	28.29 °C – 29.70 °C		
5 personas	28.29 °C – 29.86 °C		
28.29 °C – 29.57 °C			
Rango de temperatura para la temporada de calor calculada en las celdas			

Análisis de resultados

Para la temporada de calor, en los 3 tamaños de celdas y de población la temperatura se mantuvo dentro de la categoría II. Sin embargo, al cotejar la temperatura al interior del espacio con la zona de confort calculada, observamos que esta se encuentra por arriba de lo recomendado. De cierta manera la zona de confort es más exigente, pues el límite superior de temperatura es de 2°C menos que el de la norma en la categoría II.

Asimismo, observamos que la cantidad de personas implicó una diferencia entre la temperatura máxima y mínima de 1.57 °C, lo cual podría no ser representativo. Sin embargo, recordemos que las condiciones metabólicas de las personas fueron consideradas como actividades sedentarias, pero si estas son mayores a 1.3 met, la temperatura podría verse comprometida al grado de salirse de la categoría II, así como estar más lejos de la zona de confort.

Figura 34. Resultados de la temperatura (calor) comparada con los valores de diseño para la temperatura operativa interior ISO 17772 y la zona de confort calculada.

Temporada de frío (enero)			
Tipo de celda	Temperatura interior. Cálculo basado en el método simplificado de (Morales J. D., 2019)	Valores de diseño para la temperatura operativa interior ISO 17772 (datos tomados de la Figura 14)	Zona de confort calculada a partir de ecuación de Auliciems (datos tomados de la Figura 22)
Mínima (15.02 m²)		21 °C – 25.5 °C confort	18.85 °C – 23.85 °C
5 personas	17.45 °C – 18.09 °C		
7 personas	17.63 °C – 18.18 °C		
9 personas	17.80 °C – 18.27 °C	20 °C – 26 °C Cat. I	
Mediana (10.20 m²)			
3 personas	17.17 °C – 18.02 °C		
5 personas	17.40 °C – 18.14 °C	18 °C – 27 °C Cat. II	
7 personas	17.64 °C – 18.26 °C		
Máxima (5.40 m²)		16 °C – 18 °C Cat. III	
1 personas	16.48 °C – 17.85 °C		
3 personas	16.84 °C – 18.01 °C		
	5 personas	17.19 °C – 18.19 °C	
16.84 °C – 18.27 °C			
Rango de temperatura para la temporada de frío calculada en las celdas			

Análisis de resultados

Para la temporada fría, en los 3 tamaños de celdas con la diferente cantidad de población la temperatura osciló entre 16.48 °C y 18.27 °C. Dicho resultado se encuentra dentro de la categoría IV que la norma ISO 17772 indica debe ser utilizada en espacios con poco tiempo de ocupación. En cuanto a la cantidad de personas, sucede algo similar a la temporada cálida, ya que la diferencia entre la temperatura máxima y mínima es de 1.79 °C. Para esta época, la temperatura al interior del espacio está por debajo de zona de confort calculada. Es decir, la temporada invernal no logra alcanzar los valores recomendados.

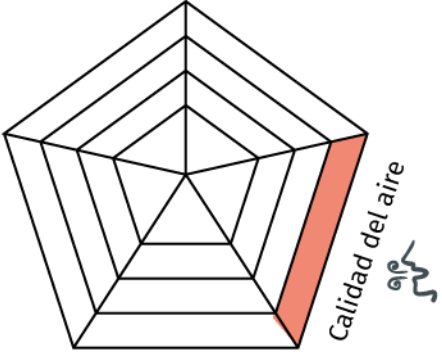
Figura 35. Resultado de la temperatura (temporada fría) comparada con los valores de diseño para la temperatura operativa interior ISO 17772 y la zona de confort calculada.

5.3 Calidad del aire

En cuanto a la calidad del aire, se aplicó tanto la ecuación para conocer el flujo de aire requerido, como la ecuación para obtener el porcentaje de aire respirado. Ambas ecuaciones se aplicaron en los 3 tipos de celda, con la sobrepoblación correspondiente, en todas las categorías de la norma tanto para personas adaptadas como para personas no adaptadas, con el propósito de conocer cuál es la tendencia en ambos casos (Ver Anexo 12, Anexo 13 y Anexo 14). Sin embargo, los resultados analizados son los correspondientes a las personas adaptadas, que es nuestro principal caso de estudio.

Es de cuestionarse por qué la norma considera menor flujo de aire para personas adaptadas, que, para personas no adaptadas, ya que los resultados muestran que en ningún caso estamos cerca de los valores de diseño para las categorías I y II, como tampoco por debajo del límite establecido por la OMS. Por otro lado, recordemos que los litros de aire respirado por minuto de 6 a 10 corresponden a personas sedentarias, por lo que si las actividades al interior superan el 1.5 met, evidentemente las exigencias de respiración serán mayores, y, por lo tanto, las concentraciones de CO₂.

Como observación adicional, la nota de la Figura 26 dice que las emisiones de CO₂ son de 20 l/h por persona, lo que equivale a 0.33 litros por minuto, por debajo de los 0.5 litros de aire para personas sedentarias que se conoce. Es decir, la norma considera una tasa de respiración menor.

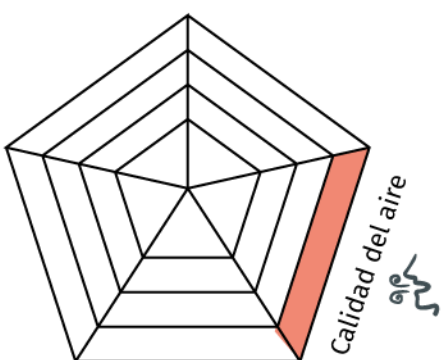
Calidad del aire (máxima seguridad)			
Tipo de celda		Concentración de CO ₂ de diseño por defecto por encima de la concentración exterior (datos tomados de la Figura 26)	Relación de CO ₂ y porcentaje de aire respirado (datos tomados de la Figura 27)
Máxima seguridad		550 ppm Cat. I	0.5 % aprox
1 persona	1.12 % - 6.36 %	800 ppm Cat. II	1.0 %
3 personas	1.89 % - 10.82 %	1350 ppm Cat. III	+1.5%
5 personas	2.18 % - 12.59 %	1350 ppm Cat. IV	+1.5%
1.12 % - 12.59 %			
Rango de porcentaje de ppm calculada en la celda de máxima seguridad			

Análisis de resultados

Para la celda de máxima seguridad, el único momento en el que se estuvo cerca del valor de 0.5% fue cuando solo se tenía 1 persona, con un flujo de aire de 15.4 l/s para personas no adaptadas. El porcentaje que se obtuvo en este caso es de 0.65%, por encima de 0.5% que corresponde a 600 ppm. Es decir, nos encontramos por arriba de los 550 ppm que la norma indica para la misma categoría I. Sin embargo, recordemos que las personas privadas de la libertad son personas adaptadas, debido a la permanencia dentro de la celda, por lo tanto, el valor que tendríamos que tomar es el de 1.12% que, por lo menos se encuentra por debajo de las 1000 ppm, pero claramente no correspondería a la categoría I de la norma.

Si continuamos revisando los demás porcentajes para las personas adaptadas, en todos los casos de la celda de máxima seguridad con el diferente número de población, nos encontramos por arriba de 1.5%, es decir, sobrepasamos las 1000 ppm máximas permitidas para ambientes saludables.

Figura 36. Resultados del porcentaje de aire respirado para una celda de máxima seguridad con 1,3,5 personas.

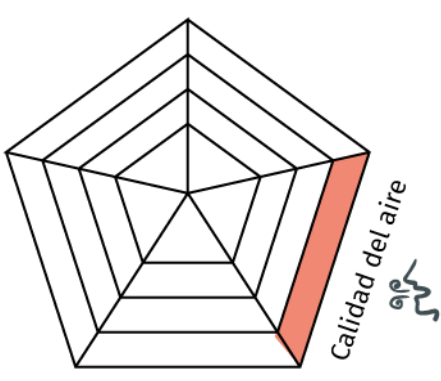
Calidad del aire (mediana seguridad)			
Tipo de celda		Concentración de CO ₂ de diseño por defecto por encima de la concentración exterior (datos tomados de la Figura 26)	Relación de CO ₂ y porcentaje de aire respirado (datos tomados de la Figura 27)
Mediana seguridad		550 ppm Cat. I	0.5 % aprox
3 persona	1.45 % - 8.25 %	800 ppm Cat. II	1.0 %
5 personas	1.81 % - 10.34 %	1350 ppm Cat. III	+1.5%
7 personas	2.02 % - 11.60 %	1350 ppm Cat. IV	+1.5%
1.45 % - 11.60 %			
Rango de porcentaje de ppm calculada en la celda de mediana seguridad			

Análisis de resultados

Para la celda de mediana seguridad con 3 personas, en cuanto a las personas adaptadas (que es nuestro principal caso de estudio), el porcentaje calculado es de 1.45%, el cual se encuentra por encima de las 800 ppm, lo que para la norma significa colocarse en una categoría III o IV. Si suministramos la cantidad de aire que indican las categorías III y IV llegamos a niveles de riesgo demasiado altos como son las 5000 ppm que corresponden a los 11.5% los cuales podemos llegar a tener si en este tamaño de celda se tienen 7 personas habitando.

Figura 37. Resultados del porcentaje de aire respirado para una celda de mediana seguridad con 3,5,7 personas.

Calidad del aire (mínima seguridad)			
Tipo de celda	Porcentaje de aire respirado para personas adaptadas	Concentración de CO ₂ de diseño por defecto por encima de la concentración exterior (datos tomados de la Figura 26)	Relación de CO ₂ y porcentaje de aire respirado (datos tomados de la Figura 27)
Mínima seguridad		550 ppm Cat. I	0.5 % apróx.
5 persona	1.54 % - 8.77 %	800 ppm Cat. II	1.0 %
7 personas	1.77 % - 10.14 %	1350 ppm Cat. III	+1.5%
9 personas	1.93 % - 11.11 %	1350 ppm Cat. IV	+1.5%

<p>1.54 % - 11.11 %</p> <p>Rango de porcentaje de ppm calculada en la celda de mínima seguridad</p>	
---	---

Análisis de resultados

Para la celda de mínima seguridad para las personas adaptadas en todos los casos de población, los resultados están por encima del 1.5 %. Nuevamente encontramos que si suministramos la cantidad de aire que indican las categorías III y IV llegamos a niveles de riesgo demasiado altos como son las 5000 ppm que corresponden a los 11.5% los cuales podemos llegar a tener si en este tamaño de celda se tienen 9 personas habitando.

Figura 38. Resultados del porcentaje de aire respirado para una celda de mediana seguridad con 3,5,7 personas.

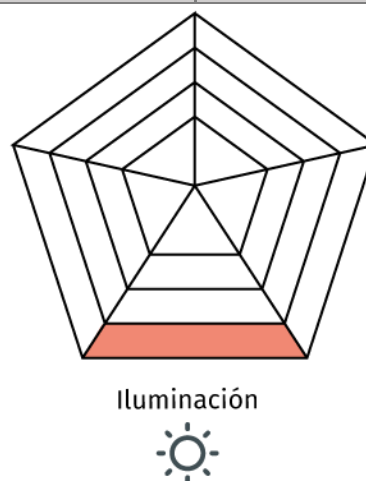
5.4 Iluminación

Tipo de celda	Factor de luz de día calculado. Cálculo basado en la ecuación de Szokolay	Clasificación de la disponibilidad de luz natural en fachadas verticales ISO 17772. Ver Figura 28	Factor de luz de día promedio con aperturas laterales en climas templados de acuerdo con Tregenza y Wilson. (Guadarrama, 2021)
	Área vidriada	Iluminación en fachadas verticales	Carácter del espacio respecto al ambiente lumínico sin luz eléctrica
	FLD	Clasificación de la disponibilidad de la luz natural	FLDP
Mínima 15.02 m²	1.26% 1.5 m ²	DCa,j ≥ 6 % alta 7.2 m ²	<5 % incomodidad térmica < 6.0 m ²
		6 % > DCa,j ≥ 4 % media 7.2 a 4.8 m ²	5% luz natural intensa 6.0 m ²
		4 % > DCa,j ≥ 2 % baja 4.8 a 2.4 m ²	2 a 4% iluminación general 2.4 a 4.8 m ²
		DCa,j < 2 % nula 2.4 m ²	> 1% espacio oscuro 1.2 m ²
Mediana 10.20 m²	1.59% 1.5 m ²	DCa,j ≥ 6 % alta 5.5 m ²	<5 % incomodidad térmica < 4.6 m ²
		6 % > DCa,j ≥ 4 % media 5.5 a 3.7 m ²	5% luz natural intensa 4.6 m ²
		4 % > DCa,j ≥ 2 % baja 3.7 a 1.8 m ²	2 a 4% iluminación general 1.8 a 3.7 m ²
		DCa,j < 2 % nula 1.8 m ²	> 1% espacio oscuro 0.9 m ²

Máxima 5.40 m²	1.16% 0.7 m ²	$DC_{a,j} \geq 6\%$	alta	3.7 m ²	<5 %	incomodidad térmica	< 3.1 m ²
		$6\% > DC_{a,j} \geq 4\%$	media	3.7 a 2.5 m ²	5%	luz natural intensa	3.1 m ²
		$4\% > DC_{a,j} \geq 2\%$	baja	2.5 a 1.2 m ²	2 a 4%	iluminación general	1.2 a 2.5 m ²
		$DC_{a,j} < 2\%$	nula	1.2 m ²	> 1%	espacio oscuro	0.6 m ²

1.16% – 1.59%

Rango de iluminación calculada en las celdas



Análisis de resultados

Para el cálculo de la iluminación, como se observó en la ecuación de factor de luz de día (FLD), no se requirió de hacer cálculos de acuerdo con el número de personas dentro de las celdas, como ocurrió en el ambiente higrotérmico y la calidad del aire, por lo tanto, la Figura 39 solo indica el factor de luz de día y el área vidriada de cada tipo de celda. Los resultados obtenidos se compararon con la norma ISO 17772, que nos muestra que, en todos los casos, el cociente de luz diurna del área calculada es menor al 2%, por lo tanto, la disponibilidad de luz natural se considera nula. En cuanto al factor de luz de día promedio de Tregenza y Wilson, los espacios se consideran oscuros, aun cuando los porcentajes requeridos son menores. Es por ello que, tanto la comparación con la norma ISO 17772 como con Tregenza y Wilson los valores son nulos u oscuros, y por tal motivo se indicaron en color gris. Para nuestro polígono de resultados, la iluminación nula indicada en color gris se consideró como una categoría IV correspondiente al color rojo. Es comprensible que, por seguridad, las dimensiones de las ventanas no puedan ser más grandes, sin embargo, por lo menos se debería tener el área vidriada que corresponde a iluminación general. Por otro lado, sería importante analizar más a fondo de dónde parten los porcentajes que considera la norma ISO.

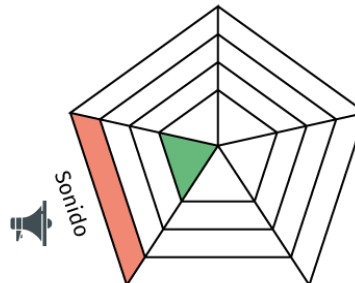
Figura 39. Factor de luz de día para cada tipo de celda, comparado con la clasificación de la disponibilidad de la luz natural en fachadas verticales de la norma ISO 17772 y el factor de luz de día considerados por Tregenza y Wilson.

5.5 Sonido

Características de las celdas. * Cálculo basado en la ecuación de Sabine				Valores de diseño para el tiempo de reverberación ISO 17772		Valores típicos de tiempo de reverberación recomendados. (NTi-audio, 2021)		
Tipo de celda	Volumen	Número de personas	Tiempo de reverberación al interior de las celdas. (s)*	Volumen	Tiempo de reverberación recomendado	Localidad	Volumen	Tiempo de reverberación recomendado
Mínima 15.02 m²	45.06 m ³	5	0.99	150 m ³	0.5 s	Estudio de grabación	< 50 m ³	0.3 s
		7	0.86					
		9	0.76					
Mediana 10.20 m²	30.60 m ³	3	0.98					
		5	0.79					
		7	0.67					
Máxima 5.40 m²	16.20 m ³	1	0.93			Aulas	< 200 m ³	0.4 - 0.6 s
		3	0.66					
		5	0.51					

0.66 s – 0.99 s

Rango de tiempo de reverberación calculada en las celdas

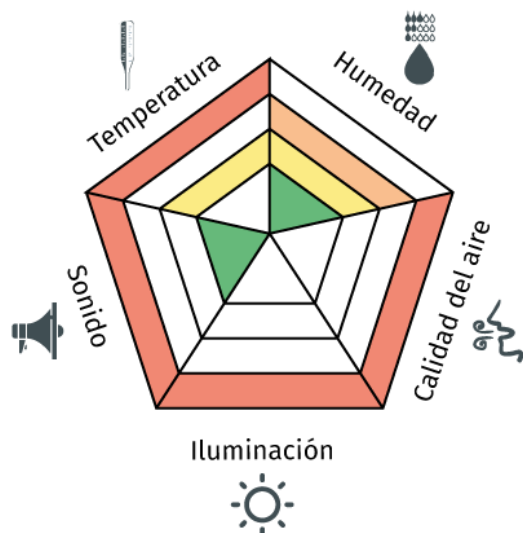


Análisis de resultados

Como podemos observar, el tiempo de reverberación calculado para los 3 tipos de celdas está por arriba de los valores de diseño indicados en la norma ISO 17772 así como de los típicos recomendados (NTi-audio, 2021), lo que quiere decir que el espacio refleja más el sonido, y por lo tanto, el tiempo de reverberación tarda más en decaer. Si nos vamos al volumen de las celdas, todas son menores a los 50 m³, por lo tanto, de acuerdo a esta consideración el tiempo de reverberación típico recomendado es de 0.3 s. Sin embargo, la norma especifica espacios con 150 m³ como máximo, y da un valor de 0.5 s, lo que se acerca al 0.5 s que se encuentran en el intervalo de 0.4-0.6 s en espacios menores a 200 m³. Por lo tanto, el único resultado que se ubica en el 0.5 s corresponde a la celda de máxima seguridad con 5 personas.

Figura 40. Resultados de los tiempos de reverberación para cada tipo de celda, comparados con la norma ISO 17772 y otros valores recomendados.

5.6 Polígono de resultados



El método aplicado por ecuaciones matemáticas permitió obtener resultados de cada aspecto de la calidad del ambiente interior de manera independiente y con ello identificar lo más importantes de cada uno. A pesar de que tenemos 3 tipos de celdas con 3 cantidades de personas cada una, pudimos observar que el comportamiento para todos los casos de celdas es el mismo. Gracias a eso se logró construir un polígono de resultados único en el que se conjuntan los 5 aspectos de la calidad del ambiente interior.

I	Recomendable	II	Normal	III	Aceptable	IV	Poco tiempo
---	--------------	----	--------	-----	-----------	----	-------------

	<p>Humedad. La humedad relativa exterior estuvo en las categorías I, II y III. Sin embargo, la categoría que más nos interesa es la III, ya que es la que se encuentra presente durante la madrugada cuando las personas privadas de la libertad tienen mayor permanencia dentro de las celdas.</p>
	<p>Temperatura. Para la temporada de calor la categoría fue la II, mientras que para la temporada de frío la categoría resultante fue la IV.</p>
	<p>Calidad del aire. Para las personas adaptadas gran parte del tiempo se estuvo dentro de la categoría III y IV, que para efectos de la norma es lo mismo, ya que la Figura 26 (84) considera 1350 ppm para ambas categorías.</p>
	<p>Iluminación. La iluminación obtenida fue nula, por lo que se consideró como una categoría IV pues ni siquiera se tiene la cantidad de iluminación básica necesaria.</p>
	<p>Sonido. Ya que la norma no daba una categorización para el tiempo de reverberación, se consideró una categoría IV cuando se estaba muy lejos del parámetro recomendado y una categoría I cuando el parámetro y el resultado era el mismo. De esta manera todas las celdas estuvieron en una categoría IV. Solo la celda de máxima seguridad con 5 personas llegó a la categoría I.</p>

Lo aspectos físicos de manera conjunta mediante el polígono de resultados muestran que la calidad del ambiente interior se estableció mayormente en la categoría IV considerada para ser aplicada en espacios con muy poco tiempo de ocupación, es decir, las celdas se pueden suponer como no habitables.

Figura 41. Polígono y análisis de resultados.

Conclusiones

El método de análisis de la calidad del ambiente interior mediante ecuaciones matemáticas permitió realizar bajo la teoría una interpretación de datos cualitativos y cuantitativos del ambiente higrotérmico, calidad del aire, iluminación y sonido de un prototipo de celdas para personas privadas de la libertad. A manera de resumen, la Figura 42 muestra la interacción que existe entre las variables, en función de las expresiones matemáticas aplicadas para cada uno de los aspectos de la calidad del ambiente interior. Es decir, de acuerdo con la información solicitada por cada una de las ecuaciones, se encontró qué datos al ser modificados, modificarán a más de uno de los factores de la calidad del ambiente interior. De manera ilustrativa se indican con colores las características del espacio (condiciones ambientales exteriores, dimensiones del espacio —área, volumen—, propiedades de los materiales, número de personas, actividades realizadas dentro del espacio), estos mismos colores se colocan en las ecuaciones cuando son aplicables.

Figura 42. Interacción entre aspectos físicos de la calidad del ambiente interior

	Ambiente higrotérmico	Calidad del aire		Iluminación	Sonido	
Método	Método simplificado TRANSYS Dr. Diego Morales	Método de Fanger	Concentración de CO ₂ a partir del % de aire respirado	Factor de luz de día Szokolay	Tiempo de reverberación Sabine	Total
Ecuación	$Q_{cond}; Q_{shg}; Q_{vent}; Q_{inf}; Q_{met}; Q_{light}$	$Q_{tot} = n \cdot q_p + AR \cdot q_B$	$Q_r = (g_{air} \cdot 100) / (g_{pr} / n \cdot 60)$	$FLDP = \frac{A_s \cdot \theta \cdot \tau}{A \cdot (1 - \rho^2)}$	$TR60 = 0.161 \cdot V / A$	
Condiciones ambientales exteriores	X					1
Dimensiones del espacio (área, volumen)	X	X		X	X	4
Propiedades de los materiales	X	X		X	X	4
Número de personas	X	X	X		X	4
Actividades realizadas dentro del espacio	X		X			2

En primer lugar, con el método planteado se logró determinar qué se analizaría de cada variable, es decir, qué condición, dentro del universo que tiene cada variable, debía ser considerada. Para la variable independiente (x), que corresponde a los factores ambientales físicos, en el ambiente higrotérmico se medirían los grados Celsius (°C) al interior del espacio; para la calidad del aire, los litros por segundo (l/s) requeridos de acuerdo a la dimensión del espacio y el número de personas, así como la concentración de sustancia (ppm CO₂); en

cuanto a la iluminación, conocer el porcentaje de luz exterior que ingresa al interior (%); y finalmente, en el caso del sonido, el tiempo de reverberación en segundos (s).

El mismo método mostró qué y cómo debía ser analizado cada factor ambiental de la variable independiente. En cuanto a la temperatura y humedad, al tener una estrecha relación, se fusionaron en lo que se denominó ambiente higrotérmico, puesto que, en el cálculo de la temperatura al interior, iba implicada tanto la humedad relativa como la específica.

Para la calidad del aire, aunque no fue una medición directa, se logró determinar si los litros de flujo de aire requeridos por la norma eran suficientes para proveer de un espacio que estuviera dentro de los límites permitidos de ppm de CO₂ tanto por la misma norma como por la OMS.

En cuanto a la iluminación, era mucho más importante analizar el porcentaje de luz solar que ingresa al interior del espacio, que el nivel de luxes por la iluminación artificial, donde derivó el cálculo del factor de luz de día.

Finalmente, se reemplazó el término ruido por sonido, ya que la calidad del ambiente interior no solo se basa en la molestia de ruidos dentro de un espacio (como los equipos mecánicos que considera la norma), pues recordemos que este factor físico se define más por una presión sonora. Por ello se consideró pertinente analizar el tiempo de reverberación (que tiene que ver más con el sonido) el cual permitió conocer las condiciones que presentaba el espacio de acuerdo a sus dimensiones, características de los materiales y número de personas.

El método también logró acotar la variable interviniente, a tan solo las dimensiones del espacio —área y/o volumen— y el número de habitantes. La razón de esto se debió a dos situaciones, por un lado, se encontró que son las características fundamentales en todas las ecuaciones aplicadas, ya que la cantidad de personas y las dimensiones del espacio —variable interviniente— son significativas para modificar las condiciones del ambiente higrotérmico, calidad del aire, iluminación y sonido, y, por otro lado, para los centros penitenciarios esos dos elementos son pieza clave en cuanto a la sobrepoblación y el hacinamiento. Quedaron fuera las características ambientales resultado de la orientación del edificio —norte, sur, este y oeste— ya que solo afectaban al ambiente higrotérmico e iluminación; mientras que, en el caso de las características de los materiales el prototipo ya estaba dado.

Asimismo, se demostró que la variable independiente (x) y la interviniente al ser modificadas indiscutiblemente modificaban a la variable dependiente (y), que son las condiciones ambientales interiores, que aquí denominamos calidad del ambiente interior.



Conclusiones generales

y futuras líneas de investigación



Fotografía: Casasola 1943. Prisionero leyendo El Quijote. Recuperado del Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Conclusiones generales y futuras líneas de investigación

En las últimas décadas, el sistema penitenciario en México ha tenido una constante transformación. Sin embargo, parece que no se logra concretar hacia un sistema orientado al respeto de los derechos humanos, ni mucho menos a la reinserción social de las personas privadas de la libertad. Para los arquitectos es un tema poco conocido, posiblemente en gran medida por los prejuicios que se tienen, así como la falta de interés en este grupo de la sociedad. Sin embargo, existe y seguirá existiendo, por lo que se requerirán soluciones en diseño arquitectónico. Dicha situación nos lleva a plantear una continuidad en las interrogantes que implican esta temática: ¿Cuáles son las características físicas de dichas propuestas? ¿Qué beneficios ambientales podrán aportar las nuevas consideraciones en el diseño arquitectónico penitenciario? La investigación hace énfasis en mirar más allá de la institución y de la seguridad que deben representar estos lugares, y abrir paso a la manera en cómo se viven y deben vivir estos espacios. Aunque la situación que guardan los centros penitenciarios por lo menos en Latinoamérica está lejos de pensarse como espacios que provean de beneficios tanto físicos como mentales para la población penitenciaria, sería significativo que se voltara a ver los métodos que algunos países europeos han adoptado, es decir, otras maneras de abordar el *castigo*, así como los derechos humanos. De esta manera, esta investigación pretende construir y proponer nuevas discusiones en donde se ponga atención a la experiencia Latinoamericana que implica el escenario que habitamos y que a su vez es el contexto de este proyecto de tesis. Si bien se ha expuesto la experiencia de ambiente penitenciarios de los países europeos, destacamos las grandes diferencias culturales. No obstante, son experiencias que también tenemos que estudiar, particularmente en los modos en cómo se aborda sanciones como el *castigo* y los derechos humanos.

Las investigaciones más recientes que anteceden este proyecto de tesis muestran una importante ausencia de aportaciones o consideraciones en cuanto al tema de la calidad del ambiente interior en los centros penitenciarios. Como se concluyó en el capítulo 3, por las condiciones que guardan estos espacios, en donde el funcionamiento en el uso y apropiación de los ambientes que componen dichos escenarios pueden implicar procesos de deterioro, es fundamental que aportaciones de esta tesis como es la calidad del ambiente interior se incorporen en las evaluaciones, certificaciones y demás herramientas que contribuyan a potencializar los beneficios ambientales de estos lugares. Solo de esa manera se podrá comenzar una transformación en pro de la población penitenciaria que, eventualmente a largo plazo puede repercutir en un bien para toda la sociedad.

Es así como estas reflexiones, juntamente con el desarrollo de la investigación permiten concluir la hipótesis y los objetivos planteados.

Comprobación y conclusiones de la hipótesis

La hipótesis con la que se inició este trabajo de investigación afirmaba que es posible analizar la calidad del ambiente interior de un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios por medio de un método analítico con ecuaciones matemáticas, y a su vez compararlo con la norma ISO 17772. Lo cual se logró, al encontrar las ecuaciones para cada uno de los aspectos de la calidad del ambiente interior que dieran resultados que pudieron contrastarse con la norma ISO 17772, lo que sirvió como punto de partida para tener un acercamiento al desempeño del prototipo de celdas. No obstante, una vez que se conoce dicho desempeño, el prototipo se debe adaptar a las condiciones del lugar y socioculturales (esta misma premisa aplica para cualquier prototipo, por lo menos en lo que a edificaciones se refiere), pues como pudimos constatar, este prototipo de celdas internacional, en cuestiones de calidad del ambiente interior se ubica en la categoría IV en Saltillo, Coahuila que para la norma ISO 17772 es para espacios en donde las personas estarán breve tiempo, pero si la ubicación geográfica es distinta las categorías resultantes podrían ser diferentes.

Conclusiones particulares de los objetivos

- Seleccionar el método analítico —ecuaciones matemáticas— para cada aspecto de la calidad del ambiente interior que pueda ser comparado con la norma ISO 17772 y aplicado en un prototipo de celdas en centros penitenciarios.

La limitación de la investigación al no tomar mediciones en un caso de estudio deja abierta la necesidad de comprobar los datos (que se obtuvieron de manera indirecta), a través de mediciones en sitio, mediante el uso de equipos de medición para cada aspecto físico, así como cuestionarios con los que se pueda conocer la percepción de la población penitenciaria en cuanto a la calidad del ambiente interior, así como lo que buscan en estos espacios. Es decir, la simulación del prototipo sirvió para comparar los datos obtenidos con la norma ISO 17772, pero faltaría validarlos. Por otro lado, esta misma limitación permitió encontrar un método que no se había utilizado para analizar la calidad del ambiente interior, especialmente en centros penitenciarios. De cierta manera el método es una innovación al analizar la calidad del ambiente interior de un prototipo de celdas mediante ecuaciones matemáticas, además de utilizar como línea base los métodos, criterios y parámetros de la

norma ISO 17772. Y lo más importante, que se puede aplicar a otra tipología de edificios ya que las ecuaciones matemáticas siguen siendo las mismas, así como los datos a analizar.

- Analizar los métodos, criterios y parámetros de la norma ISO 17772 con el propósito de conocer su pertinencia como línea base.

Las normas y/o reglamentos son parámetros de referencia que no necesariamente garantizan las condiciones adecuadas. Es por ello que deben ser analizadas al tipo de edificio, requerimientos y situación sociocultural. Ya que en el caso de normas internacionales como la norma ISO 17772 no consideraba centros penitenciarios, asimismo se basaba mayormente en edificios con sistemas mecánicos de calefacción y ventilación (que difícilmente se utilizan en México). Si bien la norma ISO fue flexible y adaptable para poder analizar otra tipología de edificio y sin sistemas mecánicos, es necesario generar más normas mexicanas de las existentes. Particularmente se espera que este proyecto de investigación produzca aportaciones respecto a la calidad del ambiente interior, especialmente en los ambientes penitenciarios.

- Especificar las características arquitectónicas, de población y ubicación geográfica del prototipo de celdas de alojamiento.

La sobrepoblación y el hacinamiento deberían estar en función de las características del ambiente interior que guarda el espacio, así como los efectos psicológicos de ansiedad y agresividad que conlleva el contacto permanente con otras personas. Sería importante analizar bajo qué criterio se fundamenta el índice de hacinamiento contemplado en la calidad global de la vivienda.

Además, los espacios que componen el ambiente penitenciario deben responder a las actividades que se desarrollan en ellos. Si existen cambios en las actividades (y por lo tanto en el metabolismo de las personas que lo habitan) esto repercute indudablemente en la calidad del ambiente interior, como se comentó en los resultados del ambiente higrotérmico y la calidad del aire en las exigencias de aire respirado. Ya que de acuerdo con los resultados en el estudio del ambiente higrotérmico, tanto en temporadas de altas temperaturas (época de calor) y de bajas temperaturas (temporada de frío), estos siempre permanecieron en la categoría IV de la norma, así como lejos de la zona de confort calculada en todos los casos de tamaño de celdas y números de personas. Lo mismo sucedió con la calidad del aire, pues las tasas de ventilación no proveyeron del flujo de aire necesario para contrarrestar las partículas de CO₂. Se requiere, por lo tanto, mayor documentación en el tema de la cantidad de litros de aire por persona respirados con relación al tipo de actividad para así tener

cálculos con mayor fundamentación y datos en cuanto a las tasas de ventilación que guarden correlación con las necesidades del espacio.

En este sentido, también una adecuada iluminación al interior del ambiente penitenciario permite realizar de manera eficiente las actividades y así contribuir a los procesos que impliquen equilibrio fisiológico y psíquico (por mencionar algunos aspectos, la reducción del estrés ambiental), que por los hechos mostrados por Valverde y lo que se conoce como ciclo circadiano, hacen de este factor un punto crítico. Lo cierto es que el prototipo de celdas puede implicar algunas contradicciones: Las celdas de mínima y mediana seguridad, de acuerdo con la teoría, se utilizan más para dormir (pues los internos tienen posibilidad de realizar otras actividades fuera de la celda), por lo tanto, la iluminación en horario nocturno no es tan necesaria, a diferencia de la celda de máxima seguridad, dentro de la cual el interno permanece 23 horas, y la dimensión de la ventana es mucho menor. En cualquiera de los casos, los resultados para el factor de luz de día fueron nulos, pero si hablamos de una celda de máxima seguridad en la que el interno realizará todas sus actividades, por lo menos allí se debería de proveer del porcentaje de iluminación mínimo necesario.

En el caso del sonido, claro está que se ha considerado la importancia del tiempo de reverberación en espacios como salas de concierto, conferencias, salones de clases entre otros. Sin embargo, la literatura nos dice que esto tiene también un gran significado en las celdas de internamiento debido al hacinamiento. Si no se está sordo, es casi imposible no percibir los sonidos que nos rodean, lo que seguramente para las personas privadas de la libertad lo convierte en un efecto negativo constante tanto de manera fisiológica como psicológica.

Las personas privadas de la libertad en teoría no pueden modificar el espacio en el que viven, lo que se contrapone con las características de las *personas adaptadas*. Esto podría traducirse en que las exigencias de los parámetros del ambiente higrotérmico y de la calidad del aire, sean mayores, ya que, como vimos en la norma ISO 17772, los parámetros para las *personas no adaptadas* eran mayores. Además, aunque el espacio no se modifica, las condiciones ambientales sí lo hacen, por eso es necesario tener un análisis puntual del comportamiento que tiene. Si bien la persona que habita el espacio penitenciario no tiene las condiciones para modificar dicho ambiente, es posible que, mediante el diseño arquitectónico, se logren generar aportaciones en cuanto a la calidad del ambiente interior.

Otro punto importante a destacar es que el presente tema de investigación puede aportar información que complementa lo que la Regla Mandela 13 enuncia sobre la calidad del ambiente interior. Es decir, puede ser una base para caracterizar el prototipo de *Un modelo de prisión*, así como marcar la pauta para evaluar con mayor precisión los aspectos físicos de los centros penitenciarios en la acreditación de la ACA y/o en las Visitadurías de la CNDH, como, por ejemplo:

Promover:

- La filtración del aire para la eliminación o reducción de fuentes contaminantes.
- La ventilación natural y cruzada para evitar enfermedades y la aparición de humedad.
- Las áreas de ventana hacia la entrada solar, sobre todo en las celdas de máxima seguridad.
- Los niveles adecuados de iluminación artificial.
- Elementos arquitectónicos que permitan que las personas privadas de la libertad puedan adaptar el espacio a sus necesidades ambientales sin vulnerar la seguridad.
- Los muros pisos y/o losas deberán ser o contener materiales absorbentes de sonido y/o conformarse de varias capas que además de proteger el espacio de los *ruidos* interiores y exteriores, proporcionen tiempos de reverberación adecuados y regulen las condiciones térmicas.
- El contacto con la naturaleza y ambientes cambiantes.

Evitar:

- Dentro de las celdas no deberán realizarse otras actividades a las del tipo sedentarias (con máximo 1.5 met) que aumenten el metabolismo de las personas y por lo tanto requieran de mayores tasas de ventilación.
- El número de personas privadas de la libertad no deberá ser mayor al estipulado.
- El suministro de aire no deberá ser menor a 10 l/s por persona.
- Materiales constructivos con componentes contaminantes.
- La forma panóptica que genera diversas orientaciones y por lo tanto diferentes características al interior de las celdas.

- Evaluar y medir las condiciones de la calidad del ambiente interior del prototipo de celdas seleccionado para identificar el desempeño de la temperatura, humedad, calidad del aire, iluminación y sonido que tiene con respecto a la norma ISO 17772.

Se observó que al cambiar algunas de las características del espacio (sobre todo aquellas que influyen en todos los aspectos físicos), posiblemente para mejorar las condiciones de uno de ellos, indiscutiblemente se estará modificando algún otro, y si esta acción no se realiza de manera metódica, podría ser contraproducente. Como ejemplo, derivado de la pandemia COVID 19, la preocupación de los espacios radicó en la calidad del aire, por lo que se proveyó de mayores tasas de ventilación al interior de los espacios. En el caso de los prototipos de celdas analizados, esto desencadena una afectación en la temporada invernal al bajar la temperatura, que de por sí en los resultados obtenidos, se estuvo por debajo de lo normado. Asimismo, el tiempo de reverberación se ve más comprometido de lo que ya se encuentra, puesto que lo que se requiere en todos los casos de celdas para estar dentro de los 0.5 s de tiempo de reverberación, son materiales absorbentes. Sin mencionar el ruido que puede ingresar si se proveyera de más áreas de ventana.

La temperatura en temporada fría se puede mejorar al almacenar calor mediante masa térmica que puede lograrse por medio de varias capas de material tanto en fachadas como en azotea. Esto también aporta beneficios de regulación en el sonido, no solo al evitar el ingreso de ruido del exterior, sino también al generar capas que absorban el sonido.

Un ambiente húmedo llega a producir mohos y bacterias y afectar la calidad del aire, lo que puede desencadenar una mayor exigencia de suministro de aire. Sin embargo, se corre el riesgo de que un elevado suministro de aire baje más la temperatura. El acceso de luz solar adecuado puede mantener el porcentaje de luz de día necesario, además de controlar la temperatura por el mismo calor proporcionado por el sol. De manera contraria a la calidad del aire y el ambiente higrotérmico, el tiempo de reverberación se ve beneficiado cuando hay más número de personas en una menor área, debido a la absorción que genera cada individuo. Pero muchas personas concentradas en un espacio exigen a su vez mayores aportaciones de aire. La siguiente tabla muestra esta posible afectación de cada aspecto físico de la calidad del ambiente interior, propiciada por la modificación de las características de las mismas. Esto se basa tanto en los resultados obtenidos como en toda la investigación. Sin embargo, tendría que ser analizada nuevamente bajo el método propuesto y complementada con mediciones en sitio.

		Se afecta de manera				
		Positiva	Neutra		Negativa	
		Temperatura	Humedad	Calidad del aire	Iluminación	Sonido
Si se modifica	Temperatura (aumento de masa térmica)					
	Humedad (deshumidificación natural o con equipos mecánicos)					
	Calidad del aire (mayor tasa de ventilación)					
	Iluminación (mayor acceso de luz natural)					
	Sonido (materiales absorbentes)					
	Personas (más personas o mayor metabolismo)					

Figura 43. Posibles afectaciones en la calidad del ambiente interior por modificación de las características de las variables.

Ciertamente los factores analizados se mantuvieron mayormente en una categoría IV, debido a las condiciones de sobrepoblación y hacinamiento, y los resultados obtenidos, el que permanecía más alejado de los parámetros normados fue la calidad del aire. Es por ello que se sugiere como punto de partida la revisión del prototipo de celdas en cuanto a sus dimensiones y el número de personas. Esto también abre la investigación hacia el resto de tipologías de edificios, ya que se sugiere analizar el criterio para dimensionar un espacio en área y número de personas, sobre todo derivado de la pandemia, ¿cuál es el aforo correcto?

Reflexiones finales

- Aunque el presente documento no profundizó en la eficiencia energética, lo cierto es que la calidad del ambiente interior influye de manera significativa en dicho tema, y esto se debe a que si las características del espacio no proporcionan condiciones adecuadas las personas buscan formas de compensarlas. Es por ello de suma importancia que desde la conceptualización del proyecto arquitectónico se analicen y establezcan los criterios de diseño vinculados a la experiencia del habitante, ya que el abordar un elemento importante como la habitabilidad, estaremos dando respuestas más acertadas en cuanto a un mejor uso de los recursos energéticos.
- Debido a que los centros penitenciarios son catalogados como lugares de reinserción social, era fundamental que (aunque sea de manera breve) se incluyera la psicología dentro del tema de investigación. Con ello se pudo comprender desde otra perspectiva la importancia que tiene la arquitectura en el desarrollo físico y emocional de las personas, así como la responsabilidad de los arquitectos en cómo la piensan y materializan, pues fue impactante conocer que los espacios tan contenidos y cerrados cambian la percepción que las personas privadas de la libertad tienen del espacio y hasta de su cuerpo. Por otro lado, los hallazgos en las diferentes investigaciones como las de Hall —agresión, mortandad, comportamientos anormales—, Jewkes —entornos dañinos—, Valverde —pobreza olfativa, ceguera de prisión, rumor sordo y constante— (que se llegan a presentar en los centros penitenciarios) complementan los resultados del análisis del prototipo de celdas y la comparación con la norma ISO 17772 pues en conjunto muestran la imperante necesidad de incluir la calidad del ambiente interior en estos lugares.
- Los dos ejes importantes en los que se ha basado esta investigación son los centros penitenciarios y la calidad del ambiente interior, al respecto de los cuales hace falta mucha sensibilización por parte del gremio, lo cual es extraño, pues las condiciones de habitabilidad en cualquier tipo de espacio deben ser parte fundamental del conocimiento del arquitecto. Ante esto ¿Qué estamos haciendo los arquitectos o qué haremos? El tener conocimiento de cualquier tipología de edificios y de saber analizar la calidad del ambiente interior nos dará oportunidad de ejercer nuestra profesión de una mejor manera por mucho más tiempo.

Referencias

- Abdul, M. (2018). 1. Introductory Chapter: Indoor Environmental Quality. En M. Abdul, *Indoor Environmental Quality* (Vol. I). IntechOpen. Obtenido de <https://www.intechopen.com/chapters/65121>
- AENOR. (2011). *EN 12464-1. Iluminación de los lugares de trabajo Parte 1: Lugares de trabajo en interiores*. Asociación Española de Normalización y Certificación. Obtenido de https://www.academia.edu/28000196/UNE_en12464_1_2012pdf
- Aguirre, M. (s.f.). *cove.tool*. Obtenido de <http://help.covetool.com/en/articles/2495609-weather-file>
- AIDICO. (2009). Guías de sostenibilidad en la edificación residencial. Calidad del ambiente interior. (a. u. Conselleria de medio ambiente, Ed.) Obtenido de <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0551273.pdf>
- Aragonés, J., & Américo, M. (2010). *Psicología ambiental* (3° ed.). Ediciones pirámide.
- Arellano, L. (2020). A 50 grados de temperatura y en la cárcel de Mexicali no hay agua. *La Jornada Baja California*. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/ultimas/estados/2020/08/20/a-50-grados-de-temperatura-y-en-la-carcel-de-mexicali-no-hay-agua-7285.html>
- Arnal, S. (2005). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Trillas.
- ASHRAE. (1972). *Handbook Fundamentals*.
- ASHRAE. (2007). *Estándar ANSI/ASHRAE 62.1-2007-Ventilación para una calidad aceptable de aire interior*. Obtenido de http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0120ASHRAE-62.1-2007-sp-Ventil-p-CAAI.pdf
- ASHRAE. (2017). *Estándar 55-2017 - Condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana (aprobado por ANSI / ASHRAE)*. ASHRAE. Obtenido de https://www.techstreet.com/ashrae/standards/ashrae-55-2017?product_id=1994974
- Asilegal*. (2020). Obtenido de <https://asilegal.org.mx/comunicados/cierre-de-ceferesos-atentan-contra-los-ddhh/>.
- Asilegal*. (2021). *Asilegal*. Obtenido de <https://asilegal.org.mx/mapa-penitenciario-covid-19/>
- AstroMía. (s.f.). El clima: temperatura, humedad, presión. *AstroMía*. Obtenido de <https://www.astromia.com/tierraluna/elemclima.htm#:~:text=La%20humedad%20indica%20la%20cantidad,de%20agua%20en%20el%20aire.>
- Barreto, L. (2018). Gobierno estadounidense entrega acreditación a la Cárcel Distrital, la mejor de Suramérica. *Bogota.gov*. Obtenido de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/secretaria-de-seguridad/carcel-distrital-recibe-acreditacion-por-sus-buenos-estandares-de>

- Berenguer, M. J. (s.f.). NTP 358: Olores: un factor de calidad y confort en ambiente interiores. España: INSHT. Recuperado el 2021, de https://www.cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20358%20-%20Olores%20un%20factor%20de%20calidad%20y%20confort%20en%20ambientes%20interiores.pdf
- BID. (2019). *Dentro de las prisiones de América Latina y el Caribe. Una primera mirada al otro lado de las rejas*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Buenfil, T. (2021). Apuntes de la clase: Diseño universal y accesibilidad. UNAM.
- Cano, A. (2022). Conferencia: Ventilación y filtración de aire para prevenir contagios por COVID-19 en espacios interiores.
- Carmona, V., & Valero, E. (2015). Arquitectura para la infancia en el entorno hospitalario. *Arquitectonics*(27), 235. Obtenido de https://pa.upc.edu/ca/Varis/altres/arqs/congresos/copy_of_International-Workshop-COAC-Barcelona-2012---Jornadas-Cientificas-COAC-Barcelona-2012/comunicacions-isbn-in-process/carmona-buendia-victoria-valero-ramos-elisa
- Cassirer, E. (1967). *Antropología Filosófica*. Fondo de Cultura Económica. Obtenido de <http://www.raularagon.com.ar/biblioteca/libros/Cassirer/Ernst%20Cassirer%20-%20Antropologia%20Filosofica.pdf>
- Castellote, J. (1993). Las penas privativas de libertad en la Constitución." Cuadernos constitucionales de la cátedra. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Obtenido de http://dialnet.unirioja.es/servlet/dfichero_articulo?codigo=229788
- Castillo, G. (2020). Formaliza SSPC cierre del Cefereso 3, en Matamoros. *La Jornada*. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/ultimas/politica/2020/12/15/formaliza-sspc-cierre-del-cefereso-3-en-matamoros-973.html>
- Chazarra, Bernabé; Rodríguez, César; Flores, Celia. (s.f.). Climatología y observaciones. doi:: 10.31978/014-18-009-X.09
- CICR. (2011). *Agua, Saneamiento, Higiene y Hábitat En Las Cárces*. (C. I. Roja, Ed.) Obtenido de www.icrc.org/es/doc/assets/files/publications/icrc-002-4083.pdf
- Cincinelli, A; Martellini, T. (2017). Indoor air quality and health. *International Environmental Resources and Public Health*.
- CNDH. (2016a). *Clasificación penitenciaria. Pronunciamento*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos. Obtenido de https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/OtrosDocumentos/Doc_2016_009.pdf
- CNDH. (2016b). *Un modelo de prisión*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos. Obtenido de <http://appweb.cndh.org.mx/biblioteca/archivos/pdfs/UnModeloPrision.pdf>
- CNDH. (2020). *Informe Especial sobre el Estado que guardan las medidas adoptadas en Centros Penitenciarios para la Atención de la Emergencia Sanitaria generada ante el Virus Sars-*

- CoV2 (COVID-19). *Tercera Visitaduría General*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- CNS. (2017). *Solicitud de Incorporación del Subprograma: "Acreditación (certificación) de establecimientos penitenciarios"*. Comisión Nacional de Seguridad. Obtenido de <https://www.gob.mx/sesnsp/documentos/subprogramas-fasp-2017>
- Cocom, F. (2018). *Evaluación de la calidad del ambiente interior de un hospital*. UNAM.
- Conagua. (s.f.). *Servicios Meteorológico Nacional*. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=bc>
- Córdoba, C., Bonilla, H., & Artega, J. (2015). Artefactos: Resultado de investigación en diseño. *Iconofacto*, 11(17), 41-42. Obtenido de <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/7464/Artefactos%20Resultado%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20dise%C3%B1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Coss Bu, R. (2003). *Simulación. Un enfoque práctico*. LIMUSA. Obtenido de https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=iY6dI3E0FNUC&oi=fnd&pg=PA11&dq=simulaci%C3%B3n&ots=uLP73k006t&sig=R2bSRnbcaEiUeJPxljybhVmVKuY&redir_esc=y#v=onepage&q=simulaci%C3%B3n&f=false
- De Giuli, V., Zecchin, R., Corain, L., & Salmaso, L. (2014). Measured and Perceived Environmental Comfort: Field Monitoring in an Italian School." *Applied Ergonomics*. Elsevier Ltd, 45(4), 1035–47. doi:doi:10.1016/j.apergo.2014.01.004
- Díaz Pérez, S. G. (2020). *Evaluación de la calidad del ambiente interior de espacios educativos en la Ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Díaz, A. (2021). *Tesis: Iluminación natural en planos verticales y potencial circadiano para la Ciudad de México*. México: UNAM. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptd2021/febrero/0808676/Index.html>
- DNSP. (2019). Obtenido de http://appweb2.cndh.org.mx/DNSP/Ceresos/p_diagEntidad_Resumen.asp?Id_Estado=8
- DOF. (2001). *NORMA Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo*. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Obtenido de <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-011.pdf>
- DOF. (2008). *NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. STPS. Obtenido de <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3581/stps/stps.htm>
- DOF. (2011a). *NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltente de edificios para uso habitacional*. Secretaría de Energía.
- DOF. (2013). *PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-081-ECOL-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición*. SEGOB. Obtenido de

http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4706988&fecha=22/06/1994#:~:text=DOF%3A%2022%2F06%2F1994,que%20dice%3A%20Estados%20Unidos%20Mexicanos.

- DOF. (2016). *Ley Nacional de Ejecución Penal*. . Diario Oficial de la Federación. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- DOF. (2019). *NMX-C-7730-ONNCCE-2018 Industria de la construcción-ergonomía del ambiente térmico-determinación analítica e interpretación del confort térmico mediante el cálculo de los índices VME y PEI y los criterios de confort térmico local*. . Secretaría de Economía.
- DOF. (2020). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Diario Oficial de la Federación. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- Durand, L. (1923). *Précis Des Leçons D'architecture Données À L'école Polytechnique*. Nabu Press. Obtenido de Definiciones de arquitectura:
<http://platea.pntic.mec.es/dgarciac/c0809/tif2web02/definiciones%20de%20arquitectura.html>
- Fanger, P. O. (2006). "What Is IAQ?" *Indoor Air*, (5), 328–34. doi:10.1111/j.1600-0668.2006.00437.x.
- FENERCOM. (2016). *Guía de Calidad Del Aire Interior*. (D. G. Industria, & E. y. Madrid, Edits.) Obtenido de <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2016/11/Guia-de-Calidad-del-Aire-Interior-fenercom-2016.pdf>
- Fuentes, V. (2009). *Modelo de Análisis climático y definición de estrategias de diseño bioclimático para diferentes regiones de la República Mexicana [tesis para optar por el grado de Doctor]*. UAM. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/128736412.pdf>
- Furuto, A. (2013). *Ny Anstalt Correctional Facility Winning Proposal / Schmidt Hammer Lassen Architects*. doi:ISSN 0719-8884
- García E.-CONABIO. (1998). *CONABIO*. Obtenido de <http://geoportal.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/clima1mgw>
- García, I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas. [tesis para optar por el grado de Maestra]*. México: UNAM. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptd2012/enero/0676168/Index.html>
- García, M., & Hernández, M. (2010). *Diseño de un difusor acústico [tesis para optar por el grado de Licenciada]*. México: IPN. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6300/DISENODIFUSOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- GESA. (2020). Obtenido de <https://www.termometros.com/Termometro-ambiental#:~:text=Un%20term%C3%B3metro%20de%20temperatura%20ambiente%20es%20un%20instrumento%20capaz%20de,la%20habitaci%C3%B3n%20de%20nuestro%20beb%C3%A9.>
- Guadarrama, C. (2021). *Apuntes de la clase: Aplicaciones lumínicas*. UNAM.

- Gutiérrez, N. (2021). Cierran 5 penales federales. *Capital México*. Obtenido de <https://www.capitalmexico.com.mx/nacional/cierran-5-penales-federales/>
- Hall, E. (1972). *La dimensión oculta*. Siglo veintiuno editores. Obtenido de https://docs.google.com/file/d/0B4Zf4yyHp_DZYWNINzNhMzItZGY1YS00ZTAyLWJjODUtYjg3ZjNkY2YwZTgz/edit?resourcekey=0--23Se7fp3R-BelFYMcEZwQ
- Heard, C. (2019). Towards a Health-Informed Approach to Penal Reform? Evidence from Ten Countries. *Institute for Criminal Policy Research*(June). Obtenido de https://www.prisonstudies.org/sites/default/files/resources/downloads/icpr_prison_health_report.pdf
- Herramientas de Ingenierías. (2021). *Diagrama y calculadora de parámetros psicrométricos Online*.
- Hohensinn-architektur. (s.f.). *Hohensinn-architektur*. Obtenido de <https://www.hohensinn-architektur.at/project/justizzentrum-leoben-2/>
- IBM Corp. (2006). https://cgrw01.cgr.go.cr/rup/RUP.es/SmallProjects/core.base_rup/guidances/concepts/prototypes_9D1E67A.html.
- Iglesias, S. (2020). Enfermedades respiratorias en las cárceles peruanas. *Revista Española de Sanidad Penitenciaria*, 135-136. Obtenido de <http://www.sanipe.es/OJS/index.php/RESP/article/view/604/1152>
- INEGI. (2000). *Diccionario de datos climáticos (vectorial)*. Obtenido de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825223885/702825223885_2.pdf
- INEGI. (2016). *Encuesta Nacional de Población Privada de la Libertad (ENPOL)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2017). *Estadísticas sobre el sistema penitenciario estatal en México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de http://www.cdeunodc.inegi.org.mx/unodc/wp-content/uploads/2018/01/en_numeros2.pdf
- INSHT. (2015). *Calidad de ambiente interior en oficina. Identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/96076/CAI+en+oficinas.pdf/cf678a1a-ac21-40a7-9c31-a22efe5428d3>
- ISO 1996-2. (2017). *ISO 1996-2:2017 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2: Determination of sound pressure levels*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/59766.html>
- ISO. (2017). *ISO 17772-1 Energy performance buildings – Indoor environmental quality-Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings*. .

- ISO. (2018). *ISO-17772-2 Energy performance of buildings — Overall energy performance assessment procedures —Part 2:Guideline for using indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings.*
- ISO 7730. (2005). *ISO 7730: 2005 Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.* Obtenido de <https://www.iso.org/standard/39155.html>
- Jewkes, Y. (2018). Just design: Healthy prisons and the architecture of hope. *ANZSOC*, 51. doi:10.1177 / 0004865818766768
- Kang, S. e. (2017). The Impact of Indoor Environmental Quality on Work Productivity in University Open-Plan Research Offices. *Building and Environment*, 124, 78–89. doi:10.1016/j.buildenv.2017.07.003
- Laborda, L. A. (2020). Covid-19: la humedad y mejor detección detrás del aumento de casos. *Radio Canadá Internacional*. Obtenido de <https://www.rcinet.ca/es/2020/11/03/covid-19-la-humedad-y-mejor-deteccion-detras-del-aumento-de-casos/>
- Lai, A., mui, K., Wong, I., & Ley, L. (2009). An Evaluation Model for Indoor Environmental Quality (IEQ) Acceptance in Residential Buildings. *Energy and Buildings*, 41(9), 930–36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.016>
- López, P. (2020). ¿Por qué morimos de frío o de calor? *Gaceta UNAM*. Recuperado el 2022, de <https://www.gaceta.unam.mx/resistencia-moderada-del-cuerpo-humano-a-temperaturas-extremas/>
- Luna Leyva, P. (2020). Prisión preventiva oficiosa en México. *Foro Jurídico*. Obtenido de <https://forojuridico.mx/prision-preventiva-oficiosa-en-mexico/#:~:text=El%20juez%20ordenar%C3%A1%20la%20prisi%C3%B3n,corrupci%C3%B3n%20trat%C3%A1ndose%20de%20los%20delitos>
- Lutz, B. (2005). El encierro foucaultiano y sus perspectivas actuales. *Economía sociedad y territorio*. doi:<https://doi.org/10.22136/est002005297>
- Luxometro.net*. (s.f.). Obtenido de <https://www.luxometro.net/>
- Martínez, F., & Ceña, R. (2006). *Edificios saludables para trabajadores sanos: Calidad de ambientes interiores*. Junta de Castilla y León, Conserjería de Economía y Empleo. Obtenido de <https://www.fessegovia.es/wp-content/uploads/2018/09/Edificios-saludables.pdf>
- Martínez, J., & Montero, M. (2010). Percepción de cualidades restauradoras y preferencia ambiental. *Revista mexicana de psicología*, 27(2), 183-190. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2430/243016324007.pdf>
- Materiales de laboratorio*. (s.f.). Obtenido de <https://materialeslaboratorio.com/higrometro/>

- Morales, I., Blanco, V., & García, A. (2018). *Calidad del ambiente interior en edificios de uso público*. Dirección General de Salud Pública. Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid. Obtenido de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM020191.pdf>
- Morales, J. D. (2019). *Proyecto arquitectónico de máxima eficiencia energética*. México: Facultad de Arquitectura. UNAM. Recuperado el 2020, de http://www.librosoa.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2995/maxima_eficiencia_energetica.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Moreno, S. (2001). Valores para la Democracia. Folleto delitos e infraestructura administrativa. Obtenido de http://www.oas.org/udse/cd_educacion/cd/Materiales_conevyt/VPLD/delitos.PDF
- Muriá, R., & Olivares, A. (2001). Criterios de diseño de elementos arquitectónicos de apoyo para personas con necesidades especiales. *Revista UNAM*, 1(3). Recuperado el 2021, de <http://www.revista.unam.mx/vol.1/num3/proyec1/>
- Ncube, M., & Riffat, S. (2012). Developing an indoor environment quality tool for assessment of mechanically ventilated office buildings in the UK – A preliminary study. 53, 26–33. doi:doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.003
- NTi-audio. (2021). *Reverberation time*. Obtenido de <https://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/NTi-Audio-AppNote-Reverberation-Time.pdf>
- Nuevatribuna.es. (mayo de 2020). <https://www.nuevatribuna.es/articulo/sociedad/distintos-paises-mundo-descongestionan-carceles-evitar-expansion-coronavirus/20200509171935174651.html>. Obtenido de Nueva tribuna.es.
- Olesen, B. (2017). International Standards for the indoor environment. Technical University of Denmark. Obtenido de [http://www.mgbc.org.my/Downloads/20171116-GBI-Pro-Series-IEQ/03_International_Standards_for_the_Indoor_Environment_\(Prof._Bjarne_W._Olesen\).pdf](http://www.mgbc.org.my/Downloads/20171116-GBI-Pro-Series-IEQ/03_International_Standards_for_the_Indoor_Environment_(Prof._Bjarne_W._Olesen).pdf)
- OMM. (2017). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de as normales climáticas*. Organización Meteorológica Mundial. Recuperado el 2021, de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4167
- ONU. (2015). Reglas Mínimas de las Naciones Unidas para el tratamiento de los reclusos— Reglas Nelson Mandela. 1-40. Asamblea General de las Naciones Unidas. Obtenido de https://www.unodc.org/documents/justice-and-prison-reform/Nelson_Mandela_Rules-S-ebook.pdf
- PCE. (s.f.). *PCE Instruments*. Recuperado el 2021, de https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-calidad-aire-interior-kat_159436.htm
- Pinar, A. (2017). *¿Por qué el aire caliente puede contener más vapor que el frío?* Obtenido de Agencia Estatal de Meteorología (Aemet): <https://aemetblog.es/2017/08/10/por-que-el-aire-caliente-puede-contener-mas-vapor-que-el-frio/>

- Redatam. (s.f.). Obtenido de https://www.redatam.org/redchl/mds/casen/WebHelp/ayudacasen.htm#informaci_n_casen/conceptos_y_definiciones/vivienda/indice_calidad_global_de_la_vivienda.htm
- Reto KÖMMERLING. (2016). Simulaciones energéticas para arquitectura. Obtenido de <https://retokommerling.com/simular-mejora-la-arquitectura-real/>
- Ricciardi, P., & Buratti, C. (2018). Environmental Quality of University Classrooms: Subjective and Objective Evaluation of the Thermal, Acoustic, and Lighting Comfort Conditions. *Building and Environment*, 127, 23-36. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132317304882>
- Ruiz, L., & Peñahora, M. (2008). *Calidad del ambiente interior*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/509319/CalidadambinteriorDTECAI.pdf/6f7cfa1c-215d-4f56-9e39-2869a23d8892>
- S&P. (2018). *SolerPalau*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-ideal-confort-termico/>
- Saad, E. (1996). *Acústica arquitectónica [tesis para optar por el grado de Maestro]*. UNAM. Obtenido de <http://132.248.9.195/ppt1997/0242675/Index.html>
- Saludprev. (s.f.). Obtenido de <https://saludprev.com/medidores-de-calidad-del-aire/>
- Sánchez, P. (2022). Comparativa de análisis climático para estrategias de diseño mediante simuladores y carta psicrométrica de Givoni. *Padi*, 148-154. doi:<https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial2.8692>
- Schires, M. (2019). La importancia de diseñar contemplando una buena calidad de aire interior" [How Designing for Air Quality May Determine the Outcome of Your Meeting]. *ArchDaily México*. (Trad. Castro, Fernanda). Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/916475/la-importancia-de-disenar-contemplando-una-buena-calidad-de-aire-interior>> ISSN 0719-8914
- SEGOB. (2017). Conoce el Sistema Penitenciario Federal. Obtenido de <https://www.gob.mx/segob/documentos/conoce-el-sistema-penitenciario-federal>
- Senado de la República. (2020). Avala Senado reformas en materia de prisión preventiva oficiosa. Obtenido de <http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletines/48750-avala-senado-reformas-en-materia-de-prision-preventiva-oficiosa.html>
- SEORL. (s.f.). *Sociedad española de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*. Obtenido de <https://seorl.net/efectos-ruido-salud-auditiva/>
- Shahryar, H. (2016). Smart innovation systems for indoor environmental quality (IEQ). *Building Engineering*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2016.08.006>

- SMN. (2021). *Información climatológica por estado*. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=coah>
- Soto, J. I. (2015). Mala iluminación afecta la salud en el lugar de trabajo. Obtenido de <https://www.elfinancierocr.com/gerencia/mala-iluminacion-afecta-la-salud-en-el-lugar-de-trabajo/4ZWWJ6YJVJDA7MQCT43LK7Q5WE/story/>
- SSP. (2006). *Reglamento de los Centros Federales de Readaptación Social* (Vol. Capítulo XI de las visitas. Art. 87). Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Seguridad Pública. Obtenido de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n274.pdf>
- SSPC. (2020). *Cuaderno mensual de información estadística penitenciaria nacional*. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Prevención y Readaptación Social. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/594396/CE_2020_OCTUBRE.pdf
- Steen, T., Rohde, L., Trangbaek, K., Rasmussen, B., Lund, R., N. Knudsen, H., . . . Beko, G. (2020). IEQ-Compass – A tool for holistic evaluation of potential indoor environmental quality. *Building and Environment*, 172. doi:10.1016/j.buildenv.2020.106707
- STGO. (2009). *STGO*. Obtenido de <https://stgo.es/2009/07/prision-de-leoben-josef-hohensinn/>
- Stouhi, D. (2019). Cómo diseñar para un óptimo confort térmico (y por qué es importante)" [How to Design for Optimal Thermal Comfort (And Why it Matters)]. *ArchDaily México*. (Trad. Dejtiar, Fabian). Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/910532/como-disenar-para-un-optimo-confort-termico-y-por-que-es-importante>
- Sweet, W. (2021). Jeremy Bentham (1748-1832). Obtenido de <https://iep.utm.edu/bentham/>
- Tagle, J., García, F., & Torres, C. (2015). Análisis de la infraestructura penitenciaria en México. *Prevención integral. ORP*. Obtenido de <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2015/analisis-infraestructura-penitenciaria-en-mexico>
- tecnométrica*. (2021). Obtenido de <https://www.tecnometrica.com.mx/Sonometro.html>
- UGT. (2022). *Portal de los riesgos laborales de los trabajadores de la enseñanza*. (U. G. Trabajadores, Ed.) Obtenido de <https://riesgoslaborales.saludlaboral.org/wp-content/uploads/2017/02/temp.pdf>
- UNE. (2003). *UNE-EN 12464-1 Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1. Lugares de trabajo en interiores*. Obtenido de https://enerfigente.files.wordpress.com/2015/08/une-en_12464-12003.pdf
- UNE. (2008). UNE 171330:2008 Calidad de Ambientes Interiores. Parte 1. Diagnóstico de calidad ambiental interior. Normalización Española.
- Universidad de Zaragoza. (s.f.). *Agentes biológicos*. Obtenido de <https://uprl.unizar.es/higiene-industrial/agentes-biologicos#:~:text=Se%20considera%20agente%20biol%C3%B3gico%20aquellos,de%20infecci%C3%B3n%2C%20alergia%20o%20toxicidad.>

- UNODC. (2015). Reglas mínimas de las Naciones Unidas para el tratamiento de los reclusos. Reglas Nelson Mandela. Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito. Obtenido de https://www.unodc.org/documents/justice-and-prison-reform/Nelson_Mandela_Rules-Book.pdf
- USEMBASSY. (2008). Obtenido de <https://mx.usembassy.gov/es/our-relationship-es/temas-bilaterales/iniciativa-merida/>
- USEMBASSY. (2020). Obtenido de <https://mx.usembassy.gov/es/12-centros-penitenciarios-mexicanos-logran-acreditacion-internacional-con-el-apoyo-de-la-iniciativa-merida/#:~:text=San%20Diego%2C%20California%2C%202013%20de,Baja%20California%20y%20el%20Establecimiento>
- Valeriano, A. (2010). *Iluminación natural en arquitectura, validación de los métodos de cálculo en la Ciudad de México [tesis para optar por el grado de Maestro]*. México: UNAM. doi:<http://132.248.9.195/ptb2011/febrero/0666424/Index.html>
- Vallejo Aguirre, V. M. (2014). Las diversas certificaciones aplicables a los edificios sustentables en México. *Multidisciplina*(18), 29-58. Obtenido de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/multidisciplina/article/view/50693/45451>
- Valverde, J. (1997). *La cárcel y sus consecuencias. La intervención sobre la conducta desadaptada*. Madrid: Editorial Popular.
- WELL Living Lab. (2020). *welllivinglab*. Obtenido de <https://www.welllivinglab.com/>
- WHO. (2010). Guidelines for Indoor Air Quality – Selected Pollutants, Euro Reports and Studies. *World Health Organization*.
- WorktechAcademy. (2021). Neuroarquitectura ¿Puede un edificio hecho de materia inerte hacernos sentir angustiados o felices, aburridos o estimulados, comprometidos o indiferentes? *WorktechAcademy*. Obtenido de https://www.worktechacademy.com/neuroarquitectura/#_ftn7
- Yang, Shen, et al. (2020). Energy, Indoor Air Quality, Occupant Behavior, Self-Reported Symptoms and Satisfaction in Energy-Efficient Dwellings in Switzerland. *Building and Environment*, 171. doi:10.3390/ijerph14111286
- Zafra, M., & Salas, J. (2021). No respire el aire de otro: cómo esquivar el coronavirus en interiores. *El país*. Obtenido de <https://elpais.com/especiales/coronavirus-covid-19/como-esquivar-el-coronavirus-en-interiores/>
- Zavala, P. (2020). La pandemia desde la cárcel. *Animal Político*. Obtenido de <https://www.animalpolitico.com/la-maquina-de-hacer-pajaros/la-pandemia-desde-la-carcel/>
- Zeevaert, L. (2020). *Interacción del medio ambiente y la envolvente arquitectónica. Apuntes*.

Figuras

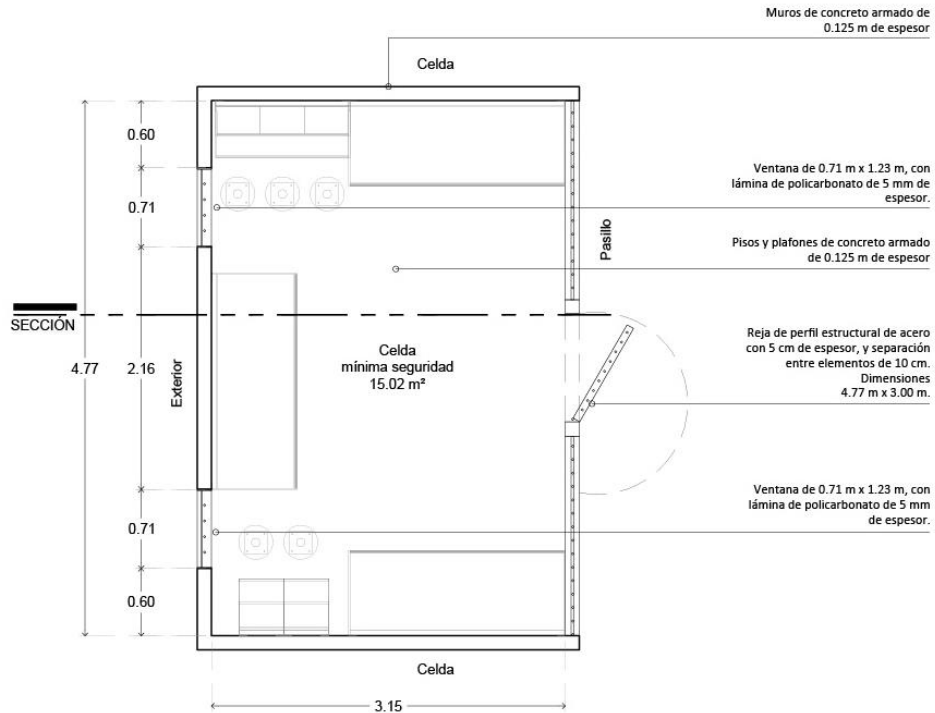
Figura 1. Liberación de personas privadas de la libertad hasta el mes de mayo de 2020 para reducir riesgo de contagios por el virus Sars-CoV-2 COVID-19.	10
Figura 2. Criterios de clasificación básica de las personas privadas de la libertad (CNDH, 2016a)	16
Figura 3. Número de personas privadas de la libertad para octubre de 2020 (SSPC, 2020).	17
Figura 4. Aspectos de la calidad del ambiente interior.	26
Figura 5. Factores físicos de la calidad del ambiente interior.	29
Figura 6. Amplitud de la zona de confort de acuerdo con la oscilación de la temperatura.	30
Figura 7. Factor de luz de día de acuerdo con el espacio y tipo de actividades.	35
Figura 8. Arquitectura panóptica ideada por Jeremy Bentham. Una torre de vigilancia central con vista de 360°. Elaboración propia	37
Figura 9. Categorías de la calidad del ambiente interior según la norma ISO 17772-1.	48
Figura 10. Categorías y sus características de la calidad del ambiente interior	49
Figura 11. Valores Met de acuerdo con el tipo de actividad. Elaboración propia.	64
Figura 12. Índice de hacinamiento según el índice de calidad global de la vivienda.	65
Figura 13. Características arquitectónicas de las celdas a analizar. Elaboración propia.	66
Figura 14. Valores de diseño para la temperatura operativa interior para edificios sin sistemas de refrigeración mecánicos en función de una media de funcionamiento ponderada de la temperatura exterior. Gráfica tomada de la Norma ISO 17772-1	67
Figura 15. Ejemplos de valores de diseño recomendados de la temperatura operativa interior en invierno y verano para edificios con sistemas de enfriamiento mecánico. Tomado de la Norma ISO 17772-1	67
Figura 16. Ejemplo de criterios de diseño recomendados para la humedad en espacios ocupados si se instalan sistemas de humidificación o deshumidificación.	68
Figura 17. Aspectos por analizar en el método simplificado del programa TRANSYS para el cálculo de la temperatura horaria interior. Elaboración propia	70
Figura 18. Normales climatológica del Servicio Meteorológico Nacional	70
Figura 19. Ángulos solares y radiación solar total incidente en el mes de enero.	72
Figura 20. Ángulos solares y radiación solar total incidente en el mes de junio.	72
Figura 21. Amplitud de la zona de confort de acuerdo con la oscilación de la temperatura.	73
Figura 22. Amplitud de la zona de confort para Saltillo, Coahuila. Se utilizaron las temperaturas mínimas de los meses de enero —más frío— y junio —más cálido—.	73
Figura 23. Aspectos por analizar en el método de calidad del aire percibido. Elaboración propia	83
Figura 24. Tasas de ventilación de diseño para diluir emisiones (biofluentes) de personas sedentarias, adultas, adaptadas y no adaptadas, para diferentes categorías. Tomado de la Norma ISO 17772-2	83
Figura 25. Tasas de ventilación de diseño para diluir emisiones de diferentes tipos de edificios. Tomado de la Norma ISO 17772-1	84
Figura 26. Concentración de CO ₂ de diseño por defecto por encima de la concentración exterior asumiendo una emisión de CO ₂ estándar de 20 l/(h por persona). Tomado de la Norma ISO 17772-2	84
Figura 27. Relación de CO ₂ y porcentaje de aire respirado. Elaboración propia.	85
Figura 28. Clasificación de la disponibilidad de luz natural en función del factor de luz natural D _{C,a,j} de las aberturas de la envolvente del edificio en bruto y del cociente de luz diurna, sin considerar protección solar. Tomado de la Norma ISO 17772-1, y complementada con (Olesen, 2017).	87
Figura 29. Factor de luz de día promedio con aperturas laterales en climas templados	88
Figura 30. Aspectos por analizar en el método de factor de luz de día. Elaboración propia	89
Figura 31. Aspectos por analizar para el método de cálculo del tiempo de reverberación	91
Figura 32. Polígono de resultados de la calidad del ambiente interior	93
Figura 33. Resultados del porcentaje de humedad relativa exterior en contraste con la humedad relativa de diseño de la norma ISO 17772 y Givoni.	94
Figura 34. Resultados de la temperatura (calor) comparada con los valores de diseño para la temperatura operativa interior ISO 17772 y la zona de confort calculada.	96
Figura 35. Resultado de la temperatura (temporada fría) comparada con los valores de diseño para la temperatura operativa interior ISO 17772 y la zona de confort calculada.	97
Figura 36. Resultados del porcentaje de aire respirado para una celda de máxima seguridad con 1,3,5 personas.	99

Figura 37. Resultados del porcentaje de aire respirado para una celda de mediana seguridad con 3,5,7 personas.	100
Figura 38. Resultados del porcentaje de aire respirado para una celda de mediana seguridad con 3,5,7 personas.	101
Figura 39. Factor de luz de día para cada tipo de celda, comparado con la clasificación de la disponibilidad de la luz natural en fachadas verticales de la norma ISO 17772 y el factor de luz de día considerados por Tregenza y Wilson.	103
Figura 40. Resultados de los tiempos de reverberación para cada tipo de celda, comparados con la norma ISO 17772 y otros valores recomendados.	104
Figura 41. Polígono y análisis de resultados.	105
Figura 42. Interacción entre aspectos físicos de la calidad del ambiente interior	106
Figura 43. Posibles afectaciones en la calidad del ambiente interior por modificación de las características de las variables.	115

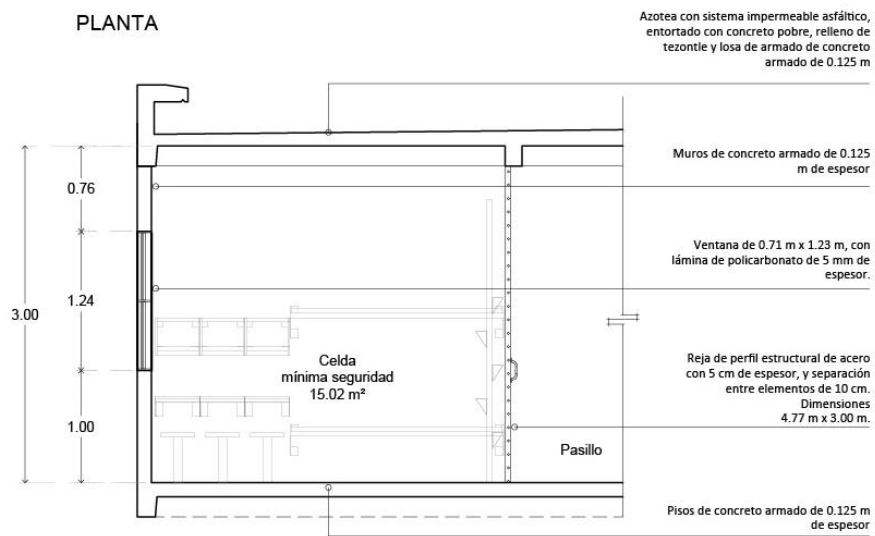
Anexos

Anexo 1. Características arquitectónicas del prototipo de celdas de mínima seguridad.	129
Anexo 2. Propiedades físicas y térmicas de los materiales.	130
Anexo 3. Estimación de temperaturas horarias medias mensuales a partir de medias extremas.	130
Anexo 4. Estimación de humedades relativas horarias medias mensuales a partir de medias extremas.	131
Anexo 5. Características de los materiales. Solo se muestra el cálculo para la celda de mínima seguridad con 5 personas.	131
Anexo 6. Cálculo térmico de la temperatura neutra mínima inicial para el mes de enero en la celda de mínima seguridad. Solo se muestra el cálculo con 5 personas.	132
Anexo 7. Cálculo térmico de la temperatura neutra mínima inicial para el mes de junio en la celda de mínima seguridad. Solo se muestra el cálculo con 5 personas.	132
Anexo 8. Cálculo térmico de la temperatura neutra mínima inicial para el mes de enero en la celda de mediana seguridad. Solo se muestra el cálculo con 3 personas.	133
Anexo 9. Cálculo térmico de la temperatura neutra mínima inicial para el mes de junio en la celda de mediana seguridad. Solo se muestra el cálculo con 3 personas.	133
Anexo 10. Cálculo térmico de la temperatura neutra mínima inicial para el mes de enero en la celda de máxima seguridad. Solo se muestra el cálculo con 1 persona.	134
Anexo 11. Cálculo térmico de la temperatura neutra mínima inicial para el mes de junio en la celda de máxima seguridad. Solo se muestra el cálculo con 1 persona.	134
Anexo 12. Flujo de aire y porcentaje de aire respirado para una celda de mínima seguridad con 5, 7, 9 personas.	135
Anexo 13. Flujo de aire y porcentaje de aire respirado para una celda de mediana seguridad con 3, 5, 7 personas.	136
Anexo 14. Flujo de aire y porcentaje de aire respirado para una celda de máxima seguridad con 1, 3, 5 personas.	137
Anexo 15. Cálculo del factor de luz de día FLD para celda de mínima seguridad. Formato tomado de (Guadarrama, 2021).	138
Anexo 16. Cálculo del factor de luz de día FLD para celda de mediana seguridad. Formato tomado de (Guadarrama, 2021).	138
Anexo 17. Cálculo del factor de luz de día FLD para celda de máxima seguridad. Formato tomado de (Guadarrama, 2021).	139
Anexo 18. Cálculo del tiempo de reverberación para la celda de mínima seguridad (5,7,9 personas).	140
Anexo 19. Cálculo del tiempo de reverberación para la celda de mediana seguridad (3,5,7 personas).	141
Anexo 20. Cálculo del tiempo de reverberación para la celda de máxima seguridad (1,3,5 personas).	142

Anexos



PLANTA



Anexo 1. Características arquitectónicas del prototipo de celdas de mínima seguridad.

Método de análisis de la calidad del ambiente interior
aplicado a un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios

Material	Densidad kg/m ³	Calor específico Kj/kg°C	Conductividad térmica W/°C
Concreto simple y reforzado	2100-2400	0.653-1.00	0.54-1.9
Policarbonato	1200	1.2	0.2
Tezontle (roca natural porosa)	<1600	1.0	0.55
Concreto pobre (entortado)	<1000	1.0	0.41
Acero (reja electrosoldada)	7800	4.5	5

Anexo 2. Propiedades físicas y térmicas de los materiales.

ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS													
	ene	Lat. (xxx.x)	25.26	Long. (xxx.x)	101	Altitud (m)	1700	Localidad					Saltillo, Coahuila
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
Temp max	19.7	21.4	24.7	27.9	29.9	30.3	29.7	29.2	26.6	24.9	22.6	20.1	
Temp min	4.5	5.7	8.7	12.1	14.8	16.1	16.2	15.9	14.0	11.2	7.8	5.5	
Temp med	12.1	13.6	16.7	20.0	22.3	23.2	23.0	22.6	20.3	18.0	15.2	12.8	
Hora min	6.706	6.428	6.090	5.702	5.385	5.218	5.284	5.555	5.928	6.303	6.627	6.783	
Hora max	14.336	15.928	14.340	15.082	14.265	14.468	15.534	15.555	16.058	15.983	15.997	15.533	
Hora (TSV)													
00:00	8.8	9.9	13.7	16.7	18.9	19.8	19.8	19.6	17.8	15.7	11.9	9.7	
01:00	7.9	9.0	12.8	15.8	18.1	19.1	19.1	18.9	17.1	14.9	11.1	8.9	
02:00	7.2	8.3	12.0	15.1	17.5	18.5	18.5	18.4	16.5	14.2	10.4	8.1	
03:00	6.6	7.7	11.4	14.5	16.9	18.0	18.1	17.9	16.0	13.6	9.8	7.6	
04:00	6.1	7.3	10.8	14.0	16.5	17.6	17.7	17.5	15.6	13.1	9.4	7.1	
05:00	5.8	6.9	10.4	13.6	16.1	17.3	17.4	17.1	15.3	12.7	9.0	6.7	
06:00	5.5	6.6	10.0	12.1	14.9	16.2	16.3	15.9	14.0	12.4	8.7	6.4	
07:00	4.5	5.7	8.9	12.7	15.8	17.3	17.2	16.6	14.3	11.3	7.8	5.5	
08:00	5.0	6.6	10.3	14.6	18.0	19.5	19.3	18.3	15.5	12.2	8.4	5.9	
09:00	6.8	8.8	12.9	17.5	20.9	22.3	21.9	20.8	17.7	14.3	10.2	7.5	
10:00	9.7	12.1	16.1	20.7	23.9	25.1	24.6	23.5	20.3	17.0	13.2	10.3	
11:00	13.1	15.5	19.3	23.6	26.5	27.5	26.9	25.9	22.7	19.7	16.4	13.5	
12:00	16.0	18.4	21.8	25.8	28.4	29.1	28.5	27.7	24.6	22.0	19.2	16.4	
13:00	18.2	20.3	23.5	27.2	29.5	30.0	29.4	28.7	25.8	23.7	21.3	18.6	
14:00	19.5	21.3	24.4	27.7	29.7	30.1	29.5	29.1	26.4	24.6	22.4	19.8	
15:00	19.8	21.4	24.5	27.5	29.4	29.7	29.2	28.8	26.4	24.7	22.7	20.2	
16:00	19.3	20.8	23.9	26.8	28.5	28.9	28.4	28.1	25.9	24.4	22.2	19.8	
17:00	18.3	19.6	22.9	25.7	27.4	27.7	27.3	27.2	25.0	23.6	21.2	18.9	
18:00	17.0	18.2	21.6	24.3	26.1	26.5	26.1	26.0	24.0	22.5	19.8	17.6	
19:00	15.5	16.6	20.2	22.9	24.7	25.2	24.9	24.8	22.9	21.3	18.4	16.1	
20:00	13.9	15.0	18.7	21.4	23.3	23.9	23.7	23.6	21.7	20.0	16.8	14.7	
21:00	12.4	13.5	17.3	20.1	22.0	22.7	22.5	22.4	20.6	18.8	15.4	13.2	
22:00	11.1	12.1	16.0	18.8	20.8	21.6	21.5	21.4	19.6	17.7	14.1	11.9	
23:00	9.9	10.9	14.8	17.7	19.8	20.7	20.6	20.5	18.6	16.6	12.9	10.7	
Temperatura neutra +	23.85	24.32	25.28	26.30	27.01	27.29	27.23	27.11	26.39	25.68	24.81	24.07	
Temperatura neutra -	18.85	19.32	20.28	21.30	22.01	22.29	22.23	22.11	21.39	20.68	19.81	19.07	

Anexo 3. Estimación de temperaturas horarias medias mensuales a partir de medias extremas.

ESTIMACIÓN DE HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS												
Lat. (xx.x)	25.26	long. (xxx.x)	101	Altitud (m)	1700	Localidad	Saltillo, Coahuila					
Esta hoja de cálculo estima la H R media horaria mensual a partir de los valores promedio de máxima y de mínima.												
Los valores de H R max y H R min pueden ser calculados a partir de la media en el caso de no contar con los valores observados.												
¿Desea utilizar valores observados? (Sí / No): NO												
Si no cuenta con los valores de la H R media, éstos pueden ser estimados a partir de la temp. mínima.												
¿Cuenta con los valores observados? (Sí / No): NO												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	19.7	21.4	24.7	27.9	29.9	30.3	29.7	29.2	26.6	24.9	22.6	20.1
Temp med	12.1	13.6	16.7	20.0	22.3	23.2	23.0	22.6	20.3	18.0	15.2	12.8
Temp min	4.5	5.7	8.7	12.1	14.8	16.1	16.2	15.9	14.0	11.2	7.8	5.5
H R med observ												
H R max observ												
H R min observ												
H R med calc	61	59	57	59	63	66	67	67	67	62	59	61
H R max calc	85	82	79	81	86	89	89	89	88	84	82	84
H R min calc	37	36	35	36	40	43	45	45	46	41	37	38
Hora max	6.706	6.428	6.090	5.702	5.385	5.218	5.284	5.555	5.928	6.303	6.627	6.783
Hora min	14.336	15.928	14.340	15.082	14.265	14.468	15.534	15.555	16.058	15.983	15.997	15.533
Hora (TSV)												
00:00	71	69	65	68	73	77	78	77	75	70	69	71
01:00	74	72	68	71	76	79	80	79	78	73	72	74
02:00	76	74	70	73	78	81	82	81	80	75	74	76
03:00	78	76	72	74	79	82	83	83	81	77	75	78
04:00	80	77	73	76	81	84	85	84	83	78	77	79
05:00	81	78	75	77	82	85	86	85	84	79	78	80
06:00	82	79	76	81	86	88	89	89	88	80	79	81
07:00	85	82	79	80	83	85	86	87	87	84	82	84
08:00	83	79	75	74	76	78	79	81	83	81	80	83
09:00	78	72	68	66	67	69	71	73	76	74	74	78
10:00	69	63	59	57	58	60	62	64	67	66	65	69
11:00	58	53	50	49	50	52	54	56	59	57	56	59
12:00	49	45	43	42	45	47	49	51	52	50	47	50
13:00	42	39	38	38	41	44	46	47	48	45	41	43
14:00	38	36	35	37	41	44	46	46	46	42	38	39
15:00	37	36	35	37	42	45	47	47	46	41	37	38
16:00	39	37	37	40	44	48	50	49	48	42	38	39
17:00	42	41	40	43	48	52	53	52	51	45	41	42
18:00	46	45	43	47	52	56	57	56	54	48	45	46
19:00	51	50	47	51	56	60	61	60	58	52	50	51
20:00	56	54	51	55	60	64	65	64	62	56	54	55
21:00	60	59	55	59	64	68	69	68	66	60	59	60
22:00	64	63	59	62	68	71	72	71	69	64	63	64
23:00	68	66	62	65	71	74	75	74	73	67	66	68

Anexo 4. Estimación de humedades relativas horarias medias mensuales a partir de medias extremas.

CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN

Coefficiente global de transferencia de calor U

ENVOLVENTE	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES				DIMENSIONES (Área de la superficie) A				Cálculo de capacitancia				
	h exterior (m)	dens. térmica (G)	coef. específico (Qp)	h interior (m)	h exterior	h medio	h interior	h exterior	h exterior de ventana (h)	h interior	h medio	h interior	
valor	W/m²	KJ/kg°C	W/m²K	W/m²K	m	m	m	m	m²	m²	m²	m²	
celda 15.02 m2													
DATOS GENERALES													
VALOR U	MURO OESTE CON VENTANA				9.686	3.15	4.77	3.00	1.00	15.03	45.08		
SUP-OPACA	MURO OESTE				4.951	4.77	3.00		1.00	13.44			
Característica general	Concreto armado												
material	Concreto armado				0.125	1.900	1.000	0.029	0.066		1.68035625	2400	4032.855
hi	Coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (muro y techo) hi				0.107								
SUP-TRANSPARENTE	VENTANA FACHADA OESTE				4.735	0.71	1.23		2.000	0.87	0.32		
Característica general	Lámina de policarbonato												
material	Lámina de policarbonato				0.015	0.200	1.20	0.029	0.075		0.0240145	1200	31.2174
hi	Coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (ventanas) hi				0.107								
VALOR U	MURO NORTE Y SUR				4.951	3.15	3.00		2.00	9.45			
SUP-OPACA	MURO NORTE Y SUR				4.951	3.15	3.00		2.00	9.45			
Característica general	Concreto armado												
material	Concreto armado				0.125	1.900	1.000	0.029	0.066		2.7625	2400	5670
hi	Coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (ventanas) hi				0.107								
VALOR U	LOSA SUPERIOR (AZOTEA)				1.091	3.15	4.77		15.03				
SUP-OPACA	LOSA SUPERIOR (AZOTEA)				1.091	3.15	4.77		15.03				
Característica general	Losa de concreto armado												
material	Losa de concreto armado				0.200	0.550	1.000	0.364	0.066		3.0051	1600	4808.16
material	Sistema impermeabilizante asfáltico				0.001	0.005	0.169	0.200	0.066		0.0150255	2100	31.15355
material	Sistema impermeabilizante asfáltico				0.050	0.410	1.000	0.122	0.066		0.791275	1800	751.275
material	Sistema impermeabilizante asfáltico				0.020	0.550	1.000	0.364	0.066		3.0051	1600	4808.16
material	Sistema impermeabilizante asfáltico				0.125	1.900	1.000	0.066	0.066		1.8781875	2400	4507.65
hi	Coeficiente de convección del aire interior (aire quieto) (muro y techo) hi				0.107								
MUROS INTERIORES													
MUROS INTERIORES													
material	Reja electrocoagulada				0.050	4.300	4.77	3.00	1.00	4.77	0.33775	7800	2700.45
Reja electrocoagulada estructural de acero													
Total 32369.76													

Anexo 5. Características de los materiales. Solo se muestra el cálculo para la celda de mínima seguridad con 5 personas.

Celda de mínima seguridad					personas	área
					5	15.02
Categoría	Flujo de aire para personas no adaptadas	Porcentaje de aire respirado		Flujo de aire para personas adaptadas	Porcentaje de aire respirado	
		6	10		6	10
I	65.02	0.77	1.28	32.52	1.54	2.56
II	45.514	1.10	1.83	23.014	2.17	3.62
III	26.008	1.92	3.20	13.508	3.70	6.17
IV	17.006	2.94	4.90	9.506	5.26	8.77

Celda de mínima seguridad					personas	área
					7	15.02
Categoría	Flujo de aire para personas no adaptadas	Porcentaje de aire respirado		Flujo de aire para personas adaptadas	Porcentaje de aire respirado	
		6	10		6	10
I	85.02	0.82	1.37	39.52	1.77	2.95
II	59.514	1.18	1.96	28.014	2.50	4.16
III	34.008	2.06	3.43	16.508	4.24	7.07
IV	22.006	3.18	5.30	11.506	6.08	10.14

Celda de mínima seguridad					personas	área
					9	15.02
Categoría	Flujo de aire para personas no adaptadas	Porcentaje de aire respirado		Flujo de aire para personas adaptadas	Porcentaje de aire respirado	
		6	10		6	10
I	105.02	0.86	1.43	46.52	1.93	3.22
II	73.514	1.22	2.04	33.014	2.73	4.54
III	42.008	2.14	3.57	19.508	4.61	7.69
IV	27.006	3.33	5.55	13.506	6.66	11.11

Anexo 12. Flujo de aire y porcentaje de aire respirado para una celda de mínima seguridad con 5, 7, 9 personas.

Método de análisis de la calidad del ambiente interior
aplicado a un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios

Celda de mediana seguridad						personas	área	
						3	10.2	
Categoría	Flujo de aire para personas no adaptadas	Porcentaje de aire respirado			Flujo de aire para personas adaptadas	Porcentaje de aire respirado		
		6	Litros de aire respirado por minuto	10		Litros de aire respirado por minuto	6	Litros de aire respirado por minuto
I	40.2	0.75	1.24	20.7	1.45	2.42		
II	28.14	1.07	1.78	14.64	2.05	3.42		
III	16.08	1.87	3.11	8.58	3.50	5.83		
IV	10.56	2.84	4.73	6.06	4.95	8.25		

Celda de mediana seguridad						personas	área	
						5	10.2	
Categoría	Flujo de aire para personas no adaptadas	Porcentaje de aire respirado			Flujo de aire para personas adaptadas	Porcentaje de aire respirado		
		6	Litros de aire respirado por minuto	10		Litros de aire respirado por minuto	6	Litros de aire respirado por minuto
I	60.2	0.83	1.38	27.7	1.81	3.01		
II	42.14	1.19	1.98	19.64	2.55	4.24		
III	24.08	2.08	3.46	11.58	4.32	7.20		
IV	15.56	3.21	5.36	8.06	6.20	10.34		

Celda de mediana seguridad						personas	área	
						7	10.2	
Categoría	Flujo de aire para personas no adaptadas	Porcentaje de aire respirado			Flujo de aire para personas adaptadas	Porcentaje de aire respirado		
		6	Litros de aire respirado por minuto	10		Litros de aire respirado por minuto	6	Litros de aire respirado por minuto
I	80.2	0.87	1.45	34.7	2.02	3.36		
II	56.14	1.25	2.08	24.64	2.84	4.73		
III	32.08	2.18	3.64	14.58	4.80	8.00		
IV	20.56	3.40	5.67	10.06	6.96	11.60		

Anexo 13. Flujo de aire y porcentaje de aire respirado para una celda de mediana seguridad con 3, 5, 7 personas.

Celda de máxima seguridad					personas	área				
					1	5.4				
Categoría	Flujo de aire para personas no adaptadas	Porcentaje de aire respirado			Flujo de aire para personas adaptadas	Porcentaje de aire respirado				
		6	Litros de aire respirado por minuto	10		Litros de aire respirado por minuto	6	Litros de aire respirado por minuto	10	Litros de aire respirado por minuto
I	15.4	6	0.65	10	1.08	8.9	6	1.12	10	1.87
II	10.78	6	0.93	10	1.55	6.28	6	1.59	10	2.65
III	6.16	6	1.62	10	2.71	3.66	6	2.73	10	4.55
IV	4.12	6	2.43	10	4.05	2.62	6	3.82	10	6.36

Celda de máxima seguridad					personas	área				
					3	5.4				
Categoría	Flujo de aire para personas no adaptadas	Porcentaje de aire respirado			Flujo de aire para personas adaptadas	Porcentaje de aire respirado				
		6	Litros de aire respirado por minuto	10		Litros de aire respirado por minuto	6	Litros de aire respirado por minuto	10	Litros de aire respirado por minuto
I	35.4	6	0.85	10	1.41	15.9	6	1.89	10	3.14
II	24.78	6	1.21	10	2.02	11.28	6	2.66	10	4.43
III	14.16	6	2.12	10	3.53	6.66	6	4.50	10	7.51
IV	9.12	6	3.29	10	5.48	4.62	6	6.49	10	10.82

Celda de máxima seguridad					personas	área				
					5	5.4				
Categoría	Flujo de aire para personas no adaptadas	Porcentaje de aire respirado			Flujo de aire para personas adaptadas	Porcentaje de aire respirado				
		6	Litros de aire respirado por minuto	10		Litros de aire respirado por minuto	6	Litros de aire respirado por minuto	10	Litros de aire respirado por minuto
I	55.4	6	0.90	10	1.50	22.9	6	2.18	10	3.64
II	38.78	6	1.29	10	2.15	16.28	6	3.07	10	5.12
III	22.16	6	2.26	10	3.76	9.66	6	5.18	10	8.63
IV	14.12	6	3.54	10	5.90	6.62	6	7.55	10	12.59

Anexo 14. Flujo de aire y porcentaje de aire respirado para una celda de máxima seguridad con 1, 3, 5 personas.

Método de análisis de la calidad del ambiente interior
aplicado a un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios

Factor de Luz de Día Promedio (FLDP) celda 15.02 m ²										
Ag	Área vidriada de las ventanas	No. De ventanas	Alto	Ancho	20% marcos	Sub-total				
		2	1.23	0.705	13%	1.5	Ag			
A	Total de todas las superficies que engloban el espacio interior	Área techo	Área piso	Área muros	Área ventanas	Sub-total				
		15.02	15.02	47.52	1.51	79.07	A			
θ	Ángulo visible del cielo	Ángulo	Ángulo de obstrucción superior			Sub-total				
		90	12			78	θ			
τ	Transmitancia	Transmitancia vidrio	Factor de suciedad			Sub-total				
		0.80	0.80			0.64	τ			
ρ	La reflectancia promedio de las superficies del espacio interior.	Área techo	Ref. techo	Área piso	Ref. piso	Área muros	Ref. muros	Área ventanas	Ref. vidrio	Sub-total
		15.02	0.80	15.02	0.20	47.52	0.50	1.51	0.10	38.93
										79.07 A
										0.49 ρ
FLDP	Factor de luz de día promedio	1.26 %								
	$FLDP = \frac{A_g \cdot \theta \cdot \tau}{A (1 - \rho^2)}$	1.26 %								
Ag	Área vidriada de las ventanas	FLDP recomendado		2.21 %						
	$A_g = \frac{FLDP \cdot A \cdot (1 - \rho^2)}{\theta \cdot \tau}$			1.5 m ²						

Anexo 15. Cálculo del factor de luz de día FLD para celda de mínima seguridad. Formato tomado de (Guadarrama, 2021).

Factor de Luz de Día Promedio (FLDP) celda 10.20 m ²										
Ag	Área vidriada de las ventanas	No. De ventanas	Alto	Ancho	20% marcos	Sub-total				
		2	1.23	0.705	16%	1.5	Ag			
A	Total de todas las superficies que engloban el espacio interior	Área techo	Área piso	Área muros	Área ventanas	Sub-total				
		10.20	10.20	38.33	1.46	60.19	A			
θ	Ángulo visible del cielo	Ángulo	Ángulo de obstrucción superior			Sub-total				
		90	12			78	θ			
τ	Transmitancia	Transmitancia vidrio	Factor de suciedad			Sub-total				
		0.80	0.80			0.64	τ			
ρ	La reflectancia promedio de las superficies del espacio interior.	Área techo	Ref. techo	Área piso	Ref. piso	Área muros	Ref. muros	Área ventanas	Ref. vidrio	Sub-total
		10.20	0.80	10.20	0.20	38.33	0.50	1.46	0.10	29.51
										60.19 A
										0.49 ρ
FLDP	Factor de luz de día promedio	1.59 %								
	$FLDP = \frac{A_g \cdot \theta \cdot \tau}{A (1 - \rho^2)}$	1.59 %								
Ag	Área vidriada de las ventanas	FLDP recomendado		2.21 %						
	$A_g = \frac{FLDP \cdot A \cdot (1 - \rho^2)}{\theta \cdot \tau}$			1.5 m ²						

Anexo 16. Cálculo del factor de luz de día FLD para celda de mediana seguridad. Formato tomado de (Guadarrama, 2021).

Factor de Luz de Día Promedio (FLDP) celda 5.40 m ²											
<i>A_g</i>	Área vidriada de las ventanas	No. De ventanas	Alto	Ancho	20% marcos	Sub-total					
		1	1.23	0.705	18%	0.7	<i>A_g</i>				
<i>A</i>	Total de todas las superficies que engloban el espacio interior	Área techo	Área piso	Área muros	Área ventanas	Sub-total					
		5.40	5.40	29.19	0.71	40.70	<i>A</i>				
<i>θ</i>	Ángulo visible del cielo	Ángulo	Ángulo de obstrucción superior			Sub-total					
		90	12			78	<i>θ</i>				
<i>τ</i>	Transmitancia	Transmitancia vidrio	Factor de suciedad			Sub-total					
		0.80	0.80			0.64	<i>τ</i>				
<i>ρ</i>	La reflectancia promedio de las superficies del espacio interior.	Área techo	Ref. techo	Área piso	Ref. piso	Área muros	Ref. muros	Área ventanas	Ref. vidrio	Sub-total	
		5.40	0.80	5.40	0.20	29.19	0.50	0.71	0.10	<u>20.07</u>	
										40.70	<i>A</i>
										0.49	<i>ρ</i>
<i>FLDP</i>	Factor de luz de día promedio	1.16 %									
	$FLDP = \frac{A_g \cdot \theta \cdot \tau}{A (1 - \rho^2)}$	1.16 %									
<i>A_g</i>	Área vidriada de las ventanas	FLDP recomendado		2.21 %							
	$A_g = \frac{FLDP \cdot A \cdot (1 - \rho^2)}{\theta \cdot \tau}$			0.7 m ²							

Anexo 17. Cálculo del factor de luz de día FLD para celda de máxima seguridad. Formato tomado de (Guadarrama, 2021).

Método de análisis de la calidad del ambiente interior aplicado a un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios

Celda 15.02 m²

MATERIALES EXISTENTES

volumen 45.06 m³

ELEMENTO	MATERIAL	LARGO	ANCHO	ALTURA	COEF. ABS.	AREA (horizontal)	AREA (vertical)	Cantidad	TOTAL (horizontal)	TOTAL (vertical)
Muro norte	Concreto armado sin pintar				0.02		9.45			0.189
Reja en muro este	Puerta de reja electrosoldada				0.22		14.31			3.1482
Muro sur	Puerta de reja electrosoldada				0.02		9.45			0.189
Muro oeste	Concreto armado sin pintar				0.02		12.57			0.2514
Ventana en muro oeste	Lámina de policarbonato				0.02		1.74			0.0348
Piso	Concreto armado sin pintar				0.02	15.02			0.3004	
Plafón	Concreto armado sin pintar				0.02	15.02			0.3004	
personas	(0.8 m ² /persona)				0.57			5	2.85	
									3.4508	3.8124

TOTAL HOR+VERT

7.2632

TIEMPO DE REVERBERACIÓN			
Constante			0.161
Volumen			45.06
Suma de áreas de absorción equivalente			7.2632

RESULTADO

0.99882421 seg

área 15.02 altura 3 volumen 45.06

Celda 15.02 m²

MATERIALES EXISTENTES

volumen 45.06 m³

ELEMENTO	MATERIAL	LARGO	ANCHO	ALTURA	COEF. ABS.	AREA (horizontal)	AREA (vertical)	Cantidad	TOTAL (horizontal)	TOTAL (vertical)
MURO A	Concreto armado sin pintar				0.02		12.71			0.2542
MURO B	Concreto armado sin pintar				0.02		9.45			0.189
MURO C	Concreto armado sin pintar				0.02		9.45			0.189
MURO D	Puerta de reja electrosoldada				1		14.43			14.43
Piso	Concreto armado sin pintar				0.02	15.02			0.3004	
Plafón	Concreto armado sin pintar				0.02	15.02			0.3004	
ventana	Lámina de policarbonato				0.02					
personas	(0.8 m ² /persona)				0.59			7	4.13	
									4.7308	15.0622

TOTAL HOR+VERT

19.793

TIEMPO DE REVERBERACIÓN			
CONSTANTE			0.161
VOLUMEN			45.06
SUMA DE ABSORCIONES			19.793

RESULTADO

0.36652655 seg

área 15.02 altura 3 volumen 45.06

Celda 15.02 m²

MATERIALES EXISTENTES

volumen 45.06 m³

ELEMENTO	MATERIAL	LARGO	ANCHO	ALTURA	COEF. ABS.	AREA (horizontal)	AREA (vertical)	Cantidad	TOTAL (horizontal)	TOTAL (vertical)
MURO A	Concreto armado sin pintar				0.02		12.71			0.2542
MURO B	Concreto armado sin pintar				0.02		9.45			0.189
MURO C	Concreto armado sin pintar				0.02		9.45			0.189
MURO D	Puerta de reja electrosoldada				1		14.43			14.43
Piso	Concreto armado sin pintar				0.02	15.02			0.3004	
Plafón	Concreto armado sin pintar				0.02	15.02			0.3004	
ventana	Lámina de policarbonato				0.02					
personas	(0.8 m ² /persona)				0.59			9	5.31	
									5.9108	15.0622

TOTAL HOR+VERT

20.973

TIEMPO DE REVERBERACIÓN			
CONSTANTE			0.161
VOLUMEN			45.06
SUMA DE ABSORCIONES			20.973

RESULTADO

0.34590473 seg

área 15.02 altura 3 volumen 45.06

Anexo 18. Cálculo del tiempo de reverberación para la celda de mínima seguridad (5,7,9 personas).

Celda 10.20 m²

MATERIALES EXISTENTES

volumen

30.6 m³

ELEMENTO	MATERIAL	LARGO	ANCHO	ALTURA	COEF. ABS.	AREA (horizontal)	AREA (vertical)	Cantidad	TOTAL (horizontal)	TOTAL (vertical)
MURO A	Concreto armado sin pintar				0.02		7.14			7.14
MURO B	Concreto armado sin pintar				0.02		12.51			12.51
MURO C	Concreto armado sin pintar				0.02		12.51			12.51
MURO D	Puerta de reja electrosoldada				1		9.45			9.45
Piso	Concreto armado sin pintar				0.02	13.12			13.12	
Plafón	Concreto armado sin pintar				0.02	13.12			13.12	
ventana	Lámina de policarbonato				0.02					
personas	(0.8 m2/persona)				0.59			3	1.77	
									28.01	41.61

TOTAL HOR+VERT

69.62

TIEMPO DE REVERBERACIÓN			
CONSTANTE			0.161
VOLUMEN			30.6
SUMA DE ABSORCIONES			69.62

RESULTADO

0.07076415 seg

área
10.2altura
3volumen
30.6**Celda 10.20 m²**

MATERIALES EXISTENTES

volumen

30.6 m³

ELEMENTO	MATERIAL	LARGO	ANCHO	ALTURA	COEF. ABS.	AREA (horizontal)	AREA (vertical)	Cantidad	TOTAL (horizontal)	TOTAL (vertical)
MURO A	Concreto armado sin pintar				0.02		7.14			7.14
MURO B	Concreto armado sin pintar				0.02		12.51			12.51
MURO C	Concreto armado sin pintar				0.02		12.51			12.51
MURO D	Puerta de reja electrosoldada				1		9.45			9.45
Piso	Concreto armado sin pintar				0.02	13.12			13.12	
Plafón	Concreto armado sin pintar				0.02	13.12			13.12	
ventana	Lámina de policarbonato				0.02					
personas	(0.8 m2/persona)				0.59			5	2.95	
									29.19	41.61

TOTAL HOR+VERT

70.8

TIEMPO DE REVERBERACIÓN			
CONSTANTE			0.161
VOLUMEN			30.6
SUMA DE ABSORCIONES			70.8

RESULTADO

0.06958475 seg

área
10.2altura
3volumen
30.6**Celda 10.20 m²**

MATERIALES EXISTENTES

volumen

30.6 m³

ELEMENTO	MATERIAL	LARGO	ANCHO	ALTURA	COEF. ABS.	AREA (horizontal)	AREA (vertical)	Cantidad	TOTAL (horizontal)	TOTAL (vertical)
MURO A	Concreto armado sin pintar				0.02		7.14			7.14
MURO B	Concreto armado sin pintar				0.02		12.51			12.51
MURO C	Concreto armado sin pintar				0.02		12.51			12.51
MURO D	Puerta de reja electrosoldada				1		9.45			9.45
Piso	Concreto armado sin pintar				0.02	13.12			13.12	
Plafón	Concreto armado sin pintar				0.02	13.12			13.12	
ventana	Lámina de policarbonato				0.02					
personas	(0.8 m2/persona)				0.59			7	4.13	
									30.37	41.61

TOTAL HOR+VERT

71.98

TIEMPO DE REVERBERACIÓN			
CONSTANTE			0.161
VOLUMEN			30.6
SUMA DE ABSORCIONES			71.98

RESULTADO

0.06844401 seg

área
10.2altura
3volumen
30.6

Anexo 19. Cálculo del tiempo de reverberación para la celda de mediana seguridad (3,5,7 personas).

Método de análisis de la calidad del ambiente interior
aplicado a un prototipo de celdas de alojamiento en centros penitenciarios

Celda 5.40 m²

MATERIALES EXISTENTES

volumen 16.2 m³

ELEMENTO	MATERIAL	LARGO	ANCHO	ALTURA	COEF. ABS.	AREA (horizontal)	AREA (vertical)	Cantidad	TOTAL (horizontal)	TOTAL (vertical)
MURO A	Concreto armado sin pintar				0.02		8.75			8.75
MURO B	Concreto armado sin pintar				0.02		7.81			7.81
MURO C	Concreto armado sin pintar				0.02		7.81			7.81
MURO D	Puerta de reja electrosoldada				1		9.45			9.45
Piso	Concreto armado sin pintar				0.02	8.15			8.15	
Plafón	Concreto armado sin pintar				0.02	8.15			8.15	
ventana	Lámina de policarbonato				0.02					
personas	(0.8 m2/persona)				0.59			1	0.59	
									16.89	33.82

TOTAL HOR+VERT 50.71

TIEMPO DE REVERBERACIÓN	
CONSTANTE	0.161
VOLUMEN	16.2
SUMA DE ABSORCIONES	50.71

RESULTADO 0.05143364 seg área 5.4 altura 3 volumen 16.2

Celda 5.40 m²

MATERIALES EXISTENTES

volumen 16.2 m³

ELEMENTO	MATERIAL	LARGO	ANCHO	ALTURA	COEF. ABS.	AREA (horizontal)	AREA (vertical)	Cantidad	TOTAL (horizontal)	TOTAL (vertical)
MURO A	Concreto armado sin pintar				0.02		8.75			8.75
MURO B	Concreto armado sin pintar				0.02		7.81			7.81
MURO C	Concreto armado sin pintar				0.02		7.81			7.81
MURO D	Puerta de reja electrosoldada				1		9.45			9.45
Piso	Concreto armado sin pintar				0.02	8.15			8.15	
Plafón	Concreto armado sin pintar				0.02	8.15			8.15	
ventana	Lámina de policarbonato				0.02					
personas	(0.8 m2/persona)				0.59			3	1.77	
									18.07	33.82

TOTAL HOR+VERT 51.89

TIEMPO DE REVERBERACIÓN	
CONSTANTE	0.161
VOLUMEN	16.2
SUMA DE ABSORCIONES	51.89

RESULTADO 0.05026402 seg área 5.4 altura 3 volumen 16.2

Celda 5.40 m²

MATERIALES EXISTENTES

volumen 16.2 m³

ELEMENTO	MATERIAL	LARGO	ANCHO	ALTURA	COEF. ABS.	AREA (horizontal)	AREA (vertical)	Cantidad	TOTAL (horizontal)	TOTAL (vertical)
MURO A	Concreto armado sin pintar				0.02		8.75			8.75
MURO B	Concreto armado sin pintar				0.02		7.81			7.81
MURO C	Concreto armado sin pintar				0.02		7.81			7.81
MURO D	Puerta de reja electrosoldada				1		9.45			9.45
Piso	Concreto armado sin pintar				0.02	8.15			8.15	
Plafón	Concreto armado sin pintar				0.02	8.15			8.15	
ventana	Lámina de policarbonato				0.02					
personas	(0.8 m2/persona)				0.59			5	2.95	
									19.25	33.82

TOTAL HOR+VERT 53.07

TIEMPO DE REVERBERACIÓN	
CONSTANTE	0.161
VOLUMEN	16.2
SUMA DE ABSORCIONES	53.07

RESULTADO 0.04914641 seg área 5.4 altura 3 volumen 16.2

Anexo 20. Cálculo del tiempo de reverberación para la celda de máxima seguridad (1,3,5 personas).



Universidad Nacional Autónoma de México
Programa de Maestría y Doctorado
Maestría en Arquitectura - Campo de Tecnologías

México 2022

