



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
Facultad de Estudios Superiores de Aragón

**Diseño de biofiltro de concreto para
fachada como purificador de aire
contaminado por partículas atmosféricas**

Tesis que para optar por el grado de maestra en
Arquitectura en el campo de conocimiento de:

TECNOLOGÍAS

Presenta:

ARQ. ZYANYA NICTE-HA HIDALGO MENDOZA

Tutor principal:

MTRO. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ GONZÁLEZ
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

Miembros del comité tutor:

DRA. MARIBEL JAIMES TORRES

Facultad de Arquitectura UNAM

DRA. ELIZABETH VEGA RANGEL

Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM

Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, Marzo de 2021



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.

TUTOR

Mtro. Sergio Alfonso Martínez González

SÍNODO

Dra. Maribel Jaimes Torres

Dra. Elizabeth Vega Rangel

Mtro. Sean Rodolfo Sebastián Vilchis Martínez

Mtra. Sofía Chávez López

AGRADECIMIENTOS

A Martell, mi esposo y compañero, por su paciencia, apoyo y amor que a través de nuestras vidas seguimos manteniendo

A mis padres, Martha y Renato por su ayuda, amor, aliento y comprensión en los proyectos emprendidos

Agradezco infinitamente a mis maestros y a todo el comité tutorial por sus consejos, ánimos, por darme una nueva visión para mi desarrollo profesional y por contagiarme su voluntad y disposición para dar siempre todo de si

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores de Aragón, por permitirme estudiar y formarme como profesional con calidad y excelencia académica

Al CONACyT y a los diferentes laboratorios en los cuales practiqué tales como el Laboratorio de Entornos Sostenibles L.E.S. U.N.A.M. Sener-CONACyT 260155, el Laboratorio de Diseño y Manufactura FES Aragón UNAM, Laboratorio de Concretos FES Aragón U.N.A.M., el Instituto de Biología U.N.A.M., el Centro de Ciencias de la Atmósfera U.N.A.M. y el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México Sistema de Monitoreo Atmosférico Zona Norte; agradezco su apoyo para concluir mis estudios de Maestría.

Zyanya Nicté-Ha Hidalgo Mendoza

ÍNDICE

Introducción

Capítulo 125

La contaminación ambiental y la presencia de partículas suspendidas

- 1.1 Las partículas suspendidas como contaminante ambiental28
 - 1.1.1 Fuentes de emisión29
 - 1.1.2 Factores que inducen a su presencia31
 - 1.1.3 Clasificación, composición química y patrón de comportamiento.....32
 - 1.1.4 Características34
- 1.2 La contaminación en cifras36
 - 1.2.1 Impacto ambiental39
 - 1.2.2 Afectaciones multidisciplinarias40
 - 1.2.3 Propuestas de soluciones multidisciplinarias y mejoras47

Capítulo 249

La participación del viento en la arquitectura

- 2.1 La contaminación del aire en los espacios interiores51
 - 2.1.1 Calidad del aire interior53
 - 2.1.2 Elementos que inciden54
 - 2.1.3 Control ambiental en interiores y mejoría de la calidad del aire60
- 2.2 La ventilación natural y su óptimo aprovechamiento en la arquitectura61
 - 2.2.1 El viento como medio de transporte64
 - 2.2.2 Confort respiratorio66
 - 2.2.3 Diseño de la ventilación natural67
 - 2.2.3.1 Normas para una buena ventilación natural67

2.2.3.2	Factores y elementos del clima y del microclima	67
2.2.3.3	Variables arquitectónicas y constructivas para el diseño de ventilación natural	69
2.2.3.4	Pasos básicos para el diseño de ventilación	70
2.2.3.5	Requerimientos bioclimáticos	71
2.2.3.6	Movimientos	73
2.2.3.7	Estanqueidad.....	87
2.3	Barreras.....	87
2.3.1	Barreras naturales y arquitectónicas.....	87
2.3.2	Vegetación	89
2.4	La fachada como elemento intermedio	90
2.4.1	Relación interior y exterior	90
2.4.2	Función.....	90
Capítulo 3	93
El biofiltro como componente		
3.1	Proyectos actuales y desarrollos tecnológicos (Sistemas análogos).....	95
3.2	Estrategia de diseño	101
3.3	Metodología de diseño	104
3.3.1	Arquitectura	104
3.3.2	Análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD)	104
3.3.3	Moldería	105
3.3.4	Análisis del concreto como material compositivo	106
3.3.5	El musgo como elemento auxiliar	107
3.3.6	Muestreo y mediciones gravimétricas.....	108

Capítulo 4	109
Memoria descriptiva, proyección y conclusiones	
4.1 Desarrollo, resultados y mejoras	111
4.1.1 Arquitectura	111
4.1.2 Análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD)	118
4.1.3 Moldería	144
4.1.4 Análisis del concreto como material compositivo	152
4.1.5 El musgo como elemento auxiliar	162
4.1.6 Muestreo y mediciones gravimétricas	169
4.2 Conclusiones generales	178
4.3 Recomendaciones	180
Anexos	183
· Disciplinas, instituciones y programas	183
· Normatividad, parámetros y estándares	187
Referente a la contaminación ambiental	187
Referente a regulaciones de construcción de la ZMVM	188
Epílogo	191
· Bibliografía y mesografía	191

Índice de imágenes

Imagen 1.	Tamaño de partículas suspendidas	28
Imagen 2.	¿Cuáles son los efectos en la salud? Material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5}	33
Imagen 3.	La gran niebla de Londres, 1952	36
Imagen 4.	Activación de la contingencia ambiental FASE I por contaminación ambiental por PM _{2.5} y Ozono en la estación de monitoreo de Nezahuacoyotl	37
Imagen 5.	Efectos en la salud por partículas	42
Imagen 6.	Cúpula de plástico de 3 millas de diámetro para un barrio en Nueva York, 1990	63
Imagen 7.	Remolinos	66
Imagen 8.	Aberturas de entrada y salida en la parte superior en interior del espacio	72
Imagen 9.	Abertura de entrada de viento al centro del espacio (+)	73
Imagen 10.	Abertura de entrada de viento asimétrica (+)	73
Imagen 11.	Ubicación superior de la abertura de salida (-)	73
Imagen 12.	Ubicación superior e inferior de aberturas de salida (-)	73
Imagen 13.	Ubicación inferior de la abertura de salida (-)	73
Imagen 14.	Dirección del flujo de aire en diagonal en el sentido de la mayor presión	74
Imagen 15.	Modificación del flujo de aire al colocar un elemento que neutralice la presión. La dirección del flujo de aire se invierte, con respecto a la figura anterior	74
Imagen 16.	Variación del flujo con un dispositivo movable ascendente en la abertura de entrada	74
Imagen 17.	Variación del flujo con un dispositivo movable descendente en la abertura de entrada	74
Imagen 18.	Variación del flujo con celosía	74
Imagen 19.	Variación del flujo con volado	75
Imagen 20.	Variación del flujo con volado bajo cubierta	75
Imagen 21.	Variación del flujo con volado separado	75

Imagen 22.	A mayor presión menor velocidad y a menor presión mayor la velocidad	76
Imagen 23.	Aplicaciones tubo Venturi	76
Imagen 24.	Estrategia de diseño bioclimático	77
Imagen 25.	Entrada del flujo en abertura, sin abertura de salida	79
Imagen 26.	Aberturas de entrada inferior con abertura de salida superior de iguales dimensiones	79
Imagen 27.	Abertura de entrada inferior (pequeña) con abertura de salida superior de mayor dimensión	79
Imagen 28.	Abertura de entrada inferior con abertura de salida de mayor dimensión	79
Imagen 29.	Disminución de la velocidad del flujo en el interior por cambios de dirección	79
Imagen 30.	Disminución de la velocidad del flujo en el interior por cambios de dirección	79
Imagen 31.	Diseño recomendable de aberturas: abertura de entrada menor que la abertura de salida en la parte superior	79
Imagen 32.	Divisiones dentro de un espacio	81
Imagen 33.	Velocidad máxima 152%	83
Imagen 34.	Velocidad máxima 67%	83
Imagen 35.	Barrera de árboles	96
Imagen 36.	Barreras en la zona de muestreo	98
Imagen 37.	Breathe Brick: el innovador ladrillo aspira la contaminación del aire	99
Imagen 38.	Simulación de una fachada de concreto biológico	100
Imagen 39.	Concreto poroso	100
Imagen 40.	Funcionamiento del aditivo fotocatalítico en el concreto	101
Imagen 41.	Análisis del patrón del comportamiento del viento que pasa a través de un espacio	114
Imagen 42.	Dominio computacional	119
Imagen 43.	Importación de la geometría	120
Imagen 44.	Mallado computacional	121
Imagen 45.	Celdas ortogonales y hexaédricas	122

Imagen 46.	Celdas	122
Imagen 47.	Fase discreta	124
Imagen 48.	Inlet	126
Imagen 49.	Outlet	126
Imagen 50.	Proceso de asignación de condiciones de frontera	129
Imagen 51.	Estado estacionario	130
Imagen 52.	Malla y órdenes de cálculo para el modelo	131
Imagen 53.	La velocidad del viento expresada en gráfica vectorial	132
Imagen 54.	La velocidad del viento expresada en líneas de corriente	133
Imagen 55.	Materiales de diseño; aire, concreto y ceniza	135
Imagen 56.	Movimiento y concentración de partículas	137
Imagen 57.	Propuesta de mejora del dominio computacional	138
Imagen 58.	Velocidad del aire expresada en gráfica vectorial	140
Imagen 59.	Velocidad del aire expresada en líneas de corriente	141
Imagen 60.	Velocidad de las partículas suspendidas PM_{10}	142
Imagen 61.	Gradiente de concentración de gravedad de las partículas suspendidas PM_{10}	143
Imagen 62.	Trayectoria de partículas suspendidas PM_{10}	143
Imagen 63.	Impresión 3D de modelo escala 1:10	144
Imagen 64.	Impresión 3D de encofrado escala 1:10, compuesto de 3 piezas	145
Imagen 65.	Molde de Triplay de 9 mm	146
Imagen 66.	Molde retráctil	146
Imagen 67.	Molde de yeso común	147
Imagen 68.	Molde de malla pollera y yeso común	147
Imagen 69.	Molde de cera de abeja combinada con parafina y cartón	148
Imagen 70.	Molde de cera de abeja combinada con parafina, Triplay de 9 mm y MDF de 6 mm	149
Imagen 71.	Resultados del proceso de moldería	150
Imagen 72.	Propuesta de mejora para la conformación de la pieza	150
Imagen 73.	Material y herramienta	157
Imagen 74.	Agregados	157

Imagen 75.	Realización de mezcla	157
Imagen 76.	Colado de cilindros de acero	157
Imagen 77.	Desencofrado y pesado de cilindros	158
Imagen 78.	Fraguado	158
Imagen 79.	Máquina Universal	158
Imagen 80.	Resultado de ensayo de compresión a los 3, 7, 14 y 28 días	159
Imagen 81.	Colado de la pieza	161
Imagen 82.	Muestras de musgos obtenidas en la FES Aragón	165
Imagen 83.	Nombre científico, características e imagen de las muestras recolectadas	166
Imagen 84.	Pseudocrossidium Replicatum	166
Imagen 85.	Análisis de muestras	167
Imagen 86.	Muestra de Pseudocrossidium Replicatum	167
Imagen 87.	Tabicón de concreto	167
Imagen 88.	Compuesto ácido	167
Imagen 89.	Mezclado	167
Imagen 90.	Mezcla	167
Imagen 91.	Empleo sobre superficie de tabicón de concreto	167
Imagen 92.	Desarrollo de capa vegetal sobre superficie de concreto	168
Imagen 93.	Aplicación en la superficie inclinada de la celosía	168
Imagen 94.	Equipo muestreador de partículas BGI PQ200	171
Imagen 95.	Resultados obtenidos de la muestra gravimétrica.	172
Imagen 96.	Biofiltros de concreto	173
Imagen 97.	Mampostería de celosías	173
Imagen 98.	Piezas ubicadas hacia vientos dominantes del sitio	173
Imagen 99.	Montaje A vista frontal	173
Imagen 100.	Montaje A vista posterior	173
Imagen 101.	Refrigeradores para conservar los filtros	173
Imagen 102.	Laboratorio SIMAT SEDEMA Zona Norte	173
Imagen 103.	Equipo muestreador de partículas vista interna	173

Índice de tablas

Tabla 1.	Emisiones a la atmósfera, partículas suspendidas PM ₁₀ y PM _{2.5}	30
Tabla 2.	Activación del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) en la ZMVM, Contingencias (Fase I y Fase II)	38
Tabla 3.	Impactos en la salud	43
Tabla 4.	Emisiones procedentes de materiales de construcción y de decoración utilizados en el edificio	58
Tabla 5.	Normas para una buena ventilación natural	67
Tabla 6.	La clasificación de los vientos y los efectos según la intensidad según la escala de Beaufort	69
Tabla 7.	Variables arquitectónicas y constructivas para el diseño de ventilación natural	69
Tabla 8.	Requerimientos bioclimáticos para brindar bienestar integral del usuario en su hábitat	71
Tabla 9.	Incremento de velocidad debido al efecto Venturi	78
Tabla 10.	Efecto Venturi. Relación entre la velocidad del viento y el área de paso, para el flujo de una cantidad constante de aire de 1m ³ /s	78
Tabla 11.	Tamaño de la entrada con respecto al área del elemento vertical	80
Tabla 12.	Efectos de la dirección del viento en sistemas de ventilación cruzada, porcentajes de velocidad con respecto a la velocidad libre del viento exterior	85
Tabla 13.	Efecto de la dirección del viento en ventilación unilateral. (Porcentajes de velocidad con respecto a la velocidad libre del viento	86
Tabla 14.	Según su densidad las barreras se clasifican en:	88
Tabla 15.	Tabla informativa para fines de la investigación	111
Tabla 16.	Principios, sistemas y geometrías empleadas	114
Tabla 17.	Requisitos durante el proceso de elaboración del molde	149
Tabla 18.	Características para la elaboración del prototipo	154
Tabla 19.	Requerimientos para la elaboración del prototipo	154
Tabla 20.	Diseño de concreto por metro cúbico	156

Tabla 21.	Dosificación de materiales para pruebas de resistencia y durabilidad de los 5 cilindros de ensaye	156
Tabla 22.	Ensayos de compresión y obtención de resistencias	159
Tabla 23.	Dosificación de materiales para una celosía	160
Tabla 24.	Criterios para la elección del tipo de briofita	164
Tabla 25.	Datos meteorológicos	174
Tabla 26.	Datos generales de muestreo sin celosía	175
Tabla 27.	Datos del muestreo en campo sin celosía	175
Tabla 28.	Datos de laboratorio sin celosía	175
Tabla 29.	Concentración gravimétrica sin celosía	175
Tabla 30.	Datos generales de muestreo con celosía	176
Tabla 31.	Datos del muestreo en campo con celosía	176
Tabla 32.	Datos de laboratorio con celosía	176
Tabla 33.	Concentración gravimétrica con celosía	176
Tabla 34.	Índice AIRE y SALUD	185

Índice de diagramas

Diagrama 1.	Fuentes de emisión de partículas suspendidas	31
Diagrama 2.	Ventajas en el uso del viento	64
Diagrama 3.	El viento según las necesidades de cada región climática	65
Diagrama 4.	Velocidades promedio y máximas dadas por la relación de tamaño entre las aberturas de entrada y de salida	80
Diagrama 5.	Efecto del tamaño de salida, con viento perpendicular y a 45°, con una entrada constante de 1/3 (con respecto al elemento divisorio)	80
Diagrama 6.	La eficiencia de la ventilación disminuye al localizar dos aberturas en uno de los lados	81
Diagrama 7.	Efectos de las subdivisiones en el interior sobre distribución y velocidad del aire	82
Diagrama 8.	Comparación de efecto de la dirección del viento en diversas configuraciones de espacios. Cuando el viento incide a 45° en la	

abertura de entrada, la sombra de viento es mas ancha, la presión negativa (efecto de succión) aumenta y el flujo de aire interior aumenta	83
Diagrama 9. Efecto del ancho de la abertura de salida en ventanas en muros adyacentes (entrada 1/3 con viento perpendicular y a 45°). (Porcentajes de velocidad en relación con la velocidad exterior libre del viento)	85
Diagrama 10. Velocidad del aire en modelos con proyecciones (salientes) verticales de diferentes dimensiones comparados con modelos son proyecciones. Con ancho de ventanas de 1/3 del ancho del muro. (Porcentajes con respecto a la velocidad del aire exterior)	86
Diagrama 11. Zona de muestreo	97
Diagrama 12. Dimensiones constructivas	115
Diagrama 13. Perspectiva frontal y posterior	115
Diagrama 14. Sistema constructivo y vientos dominantes	116
Diagrama 15. Condiciones de diseño (A)	116
Diagrama 16. Condiciones de diseño (B)	117
Diagrama 17. Componentes de diseño	117
Diagrama 18. Muestreo de PM _{2.5} “A”	170
Diagrama 19. Muestreo de PM _{2.5} “B”	170

Índice de gráficas

Gráfica 1. Contribución porcentual de las fuentes emisoras de la CDMX, 2016	30
Gráfica 2. Fuentes de emisión de partículas PM ₁₀	39
Gráfica 3. Contribución de emisiones contaminantes por sector (precursores de ozono y partículas)	39
Gráfica 4. El ozono y las partículas son los contaminantes responsables del deterioro de la calidad del aire	40
Gráfica 5. Promedio mensual de las concentraciones horarias del monitoreo continuo de PM ₁₀	43

Gráfica 6.	Frecuencia de las concentraciones horarias del monitoreo continuo de PM ₁₀	44
Gráfica 7.	Comportamiento horario del monitoreo continuo de PM ₁₀	44
Gráfica 8.	Función de la distribución acumulada de los muestreos de 24 h del monitoreo manual de PM ₁₀	45
Gráfica 9.	Promedio de las concentraciones horarias del monitoreo continuo de PM ₁₀	45
Gráfica 10.	Cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas para PM ₁₀	46
Gráfica 11.	Promedio anual de 24 h del muestreo manual de PM ₁₀	46
Gráfica 12.	Gráfica residual	139
Gráfica 13.	Rosas de los vientos	178

Siglas

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ACI	American Concrete Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning
BGI PQ 200	Muestreador de particulado de aire ambiente
CAD	Computer-Aided Design
CAI	Calidad del aire interior
CCA	Centro de Ciencias de la Atmósfera
CDMX	Ciudad de México
CO	Compuestos orgánicos
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
COT	Carbono orgánico total
COV	Compuestos orgánicos volátiles
DFC	Dinámica de Fluidos Computacional
EPA	United States Environmental Protection Agency

EUCON AEA-92	Aditivo inclusor de aire
FES	Facultad de Estudios Superiores
HR	Hora
IAQ	Indoor air quality
IMECA	Índice metropolitano de la calidad del aire
INAFED	Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INLET	Ingreso
L4	Laboratorio 4
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LES	Laboratorio de Entorno Sostenible
MP	Material particulado
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organización no gubernamental
OUTLET	Salida
PACCM	Programa de acción climática de la Ciudad de México
PCAA	Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas
PM ₁₀	Particulate Matter menor o igual a 10 micrómetros
PM _{2.5}	Particulate Matter menor o igual a 2.5 micrómetros
PSMARN	Programa sectorial de medio ambiente y recursos naturales
PST	Partículas suspendidas totales
RAMA	Red Automática de Monitoreo Atmosférico
RH	Humedad relativa
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente
SSA	Secretaría de Salud
TMP	Temperatura
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UPC	Universidad Politécnica de Cataluña
USEPA	Environmental Protection Agency of U.S.
USGBC	U.S. Green Building Council
UV	Ultravioleta

WDR	Grados meteorológicos
WSP	Velocidad del viento
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

Símbolos

.sat	Extensión de archivo
°C	Grados centígrados
µg	Microgramo
µm	Micrómetro
µm/m ³	Micrómetros por metro cúbico
Al	Aluminio
As	Arsénico
C	Concentración
Ca	Calcio
cc	Centímetro cúbico
Cd	Cadmio
cm ²	Centímetro cuadrado
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Bióxido de Carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
e	Exponencial
Fe	Hierro
g	Gramo
K	Potasio
kg	Kilogramo
l	Litro
l/min	Litro por minuto
m ³	Metro cúbico
Mg	Magnesio

min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetro
Mn	Manganeso
mPartículas	Flujo másico de partículas
Na	Sodio
Ni	Niquel
NO ₂	Bióxido de nitrógeno
NO _x	Gases reactivos
O ₃	Ozono
Pb	Plomo
pH	Potencial de Hidrógeno
sec	Segundo
SO ₂	Bióxido de azufre
SO _x	Óxido de azufre
V	Flujo volumétrico
V	Vanadio
Zn	Zinc

INTRODUCCIÓN

El diseño de un biofiltro de concreto que se pueda utilizar en una fachada como purificador de aire contaminado por partículas atmosféricas es un proceso que consiste en investigar y llevar a la práctica como prueba a escala banco de laboratorio; además de complementarse de ramas multidisciplinarias a la aportación arquitectónica, donde se le dará énfasis a la propuesta geométrica que desea efectuar una adecuada captación de partículas suspendidas del aire; siendo finalmente una celosía de concreto para muros de mampostería con orientación a los vientos dominantes del sitio.

La aportación arquitectónica consiste en un análisis geométrico, análisis de la ventilación, características físicas, orientación y ubicación; acompañada de estudios en las ramas de la ingeniería mecánica, diseño industrial, ingeniería civil, biología y química.

La intención concluyente de ésta investigación es la de evaluar la eficiencia de la celosía en el sitio mediante el análisis de datos que resulten a partir de la geometría en función del viento que pase a través de ella.

Investigación efectuada a partir del análisis de la experiencia vivencial de la población residente de zonas con alto grado de contaminación por partículas atmosféricas tal como la Ciudad de México y la Zona Metropolitana; a partir de ello es importante buscar e implementar propuestas multidisciplinarias para disminuir la gravedad de la situación y a su vez brindar una mejoría.

Éste proceso de investigación fue enfocado en el planteamiento de una aportación a la Arquitectura planteada para la mejoría de la calidad del aire dentro de un espacio.

Planteamiento del problema:

La contaminación ambiental por partículas atmosféricas en la Ciudad de México y la Zona Metropolitana invade los espacios habitables por ende propicia enfermedades en los ocupantes del edificio.

Causa de la problemática:

- Por buscar un intento de protección y por mantener un espacio limpio se opta por el hermetismo de los espacios.
- La circulación del aire mediante sistemas mecánicos genera altos costos de consumo energético, además de poner en riesgo la salud de los ocupantes debido al nulo mantenimiento de los ductos y de equipos implementados.

No obstante, con los ejemplos anteriores se propicia la estanqueidad del aire y el desarrollo de microorganismos dentro de un ambiente viciado.

Objetivo general:

Diseñar una celosía de concreto para fachada que por medio de su geometría disminuya el acceso de partículas suspendidas atmosféricas al interior del espacio, con el fin de mejorar la calidad del aire interior, manteniendo una óptima ventilación natural en un ambiente saludable.

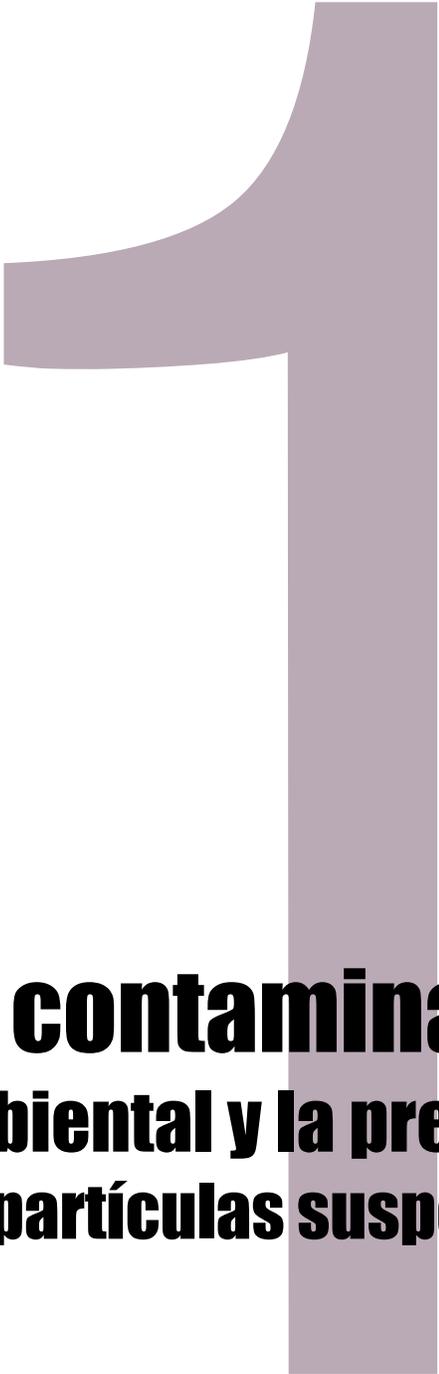
Objetivos particulares:

- Demostrar la eficiencia en la reducción de los contaminantes del aire que ingresa del exterior hacia el interior del espacio dependiendo del funcionamiento geométrico de la celosía.
- Diseñar una celosía basada en elementos pasivos tal como principios físicos y análisis de comportamientos del viento.
- A partir de la eficiencia se propone reducir los altos costos generados por equipos eléctricos y mecánicos de purificación y circulación del aire (Sistemas de aire acondicionado) por ende evitar las afecciones de salud debido a ello.
- Proponer la implementación de geometría como elemento auxiliar para un funcionamiento ventajoso.

Hipótesis

La falta de ventilación propicia acumulación de polvos y de agentes contaminantes por actividades cotidianas y la libre ventilación propicia entrada de agentes contaminantes del exterior por la mala calidad del aire presente.

Si se diseña una celosía que funcione como captador auxiliado de elementos naturales que a su vez se ubique en un punto intermedio entre el ambiente exterior y el ambiente interior tal como una barrera, existiría una reducción de la entrada de contaminantes atmosféricos del exterior hacia el interior pero a su vez continuaría el libre flujo de la ventilación natural.



La contaminación ambiental y la presencia de partículas suspendidas

- Las partículas suspendidas como contaminante ambiental
 - La contaminación en cifras

CAPÍTULO I

La contaminación ambiental y la presencia de partículas suspendidas

Hoy en día, en torno a diversas investigaciones efectuadas por profesionales de varias disciplinas que se enfocan en el estudio de la calidad del aire, tales como la química, la meteorología y la ingeniería ambiental, brindan gran parte de sus resultados que son finalmente atendidos y comprobados por profesionales de la salud. Dichos análisis se han vuelto un tema primordial de consideración por la ciudadanía; gran parte de ellos son gestionados y monitoreados por programas e instituciones, de ahí que los diversos resultados comprobados arrojan información en el aspecto social, ambiental, demográfico y de salud.

Como lo da a conocer la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA)¹; “Diversos estudios realizados en la Ciudad de México, Estado de México, y otras ciudades alrededor del mundo, han demostrado que existe una relación entre el incremento en la concentración de los contaminantes del aire y el aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Algunos contaminantes, como las partículas suspendidas están asociados con el aumento en las visitas a salas de urgencia y la mortalidad“

Una manera de proteger la salud de la población es a través del monitoreo y la difusión continua del estado de la calidad del aire. En la Ciudad de México, la Dirección de Monitoreo Atmosférico es el responsable de la medición permanente de los principales contaminantes del aire.

La contaminación atmosférica se define como la presencia de cualquier sustancia que altere las propiedades físicas o químicas del aire; los contaminantes atmosféricos más comunes son el dióxido de nitrógeno, el óxido de azufre, el ozono y las partículas suspendidas (Arrieta, Álvaro, 2016, pág. 44)².

1 La Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) es una dependencia de la administración pública del Gobierno de la Ciudad de México, que tiene a su cargo la formulación, ejecución y evaluación de la política de la Ciudad de México en materia ambiental y de recursos naturales.

2 Arrieta Fuentes Alvaro Javier, 2016, Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo, Dispersión de material particulado (PM₁₀), con Interrelación de factores meteorológicos y topográficos, 2016, pág. 44, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

1.1 Las partículas suspendidas como contaminante ambiental

Partícula es un término utilizado en el monitoreo del aire para describir las materias sólidas y líquidas, incluyen polvo, humo y cenizas; las de mayor tamaño se depositan con mayor rapidez debido a la fuerza de gravedad, por lo tanto, los efectos que producen en la población o en el ambiente se identifican en lugares muy cercanos a la fuente que las emite (García, María, 2014, pág. 36)³.

Las PM₁₀, como sus siglas en inglés lo indican: Particulate Matter o partículas gruesas, son las partículas menores o iguales a 10 micrómetros⁴ de diámetro, son emitidas por fuentes de origen natural o antropogénico; en cambio, las partículas respirables o PM_{2.5}, menores o iguales a 2.5 micrómetros pueden ser irritantes respiratorios, especialmente para asmáticos.

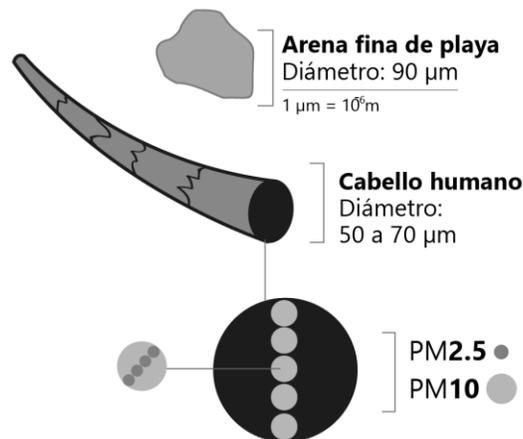


Imagen 1. "Tamaño de partículas suspendidas".

Recuperado de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/Principales-contaminantes.aspx>⁵

Las partículas se consideran como contaminantes constituidos por material líquido y sólido de muy diversa composición y tamaño, que se encuentran en el aire y pueden ser generadas, tanto por fuentes móviles como estacionarias, se asocian generalmente a la combustión no controlada, algunas están relacionadas con la desintegración mecánica de la materia o la re-suspensión de

³ García Chávez María de los Ángeles, 2014, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Análisis correlacional entre el incremento de los automóviles particulares y la concentración de partículas menores a diez micrómetros (PM₁₀) en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca durante el periodo 2006-2011, Estado de México, 2014, pág., párrafo, fecha de consulta: 2019.

⁴ El micrómetro, micrón o micra es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro. Su símbolo es µm.

⁵ Área Metropolitana del Valle de Aburrá, <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/Principales-contaminantes.aspx>, fecha de consulta: 2018.

partículas en el ambiente, esto incluye procesos de combustión en vehículos, principalmente aquellos que usan diesel, industrias de fundición, pinturas, cerámica y plantas de energía (Canales, Miguel; Quintero, Margarito; Castro, Telma; García, Rafael, 2014, pág. 14)⁶, finalmente, se ha establecido que las partículas se encuentran constituidas por hierro, aluminio, calcio, sodio, silicio, cloruro y polvo mineral, aunque la composición química varía dependiendo de las fuentes de emisión.

1.1.1 Fuentes de emisión

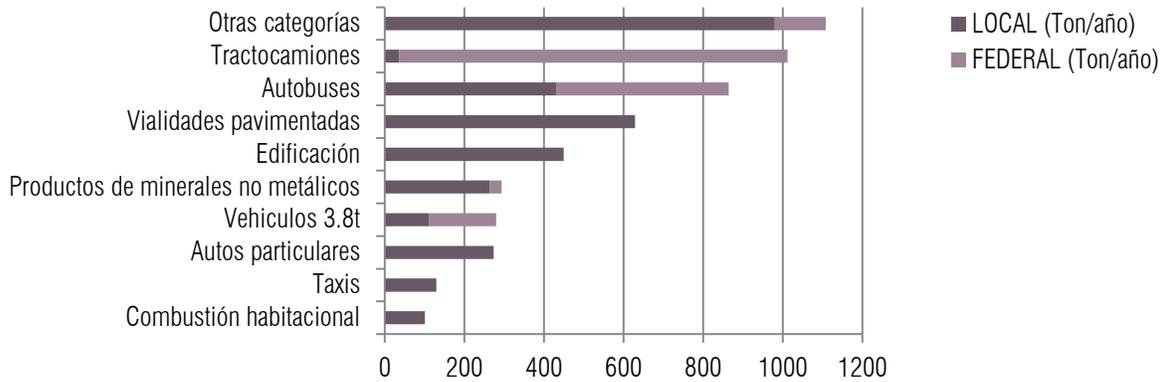
Existen tres tipos de fuentes de emisión donde, el primer renglón lo ocupan las de tipo dispersas o no conducidas, es decir que no se caracterizan por poseer un ducto definido para evacuar los gases o emisiones, las principales emisiones están asociadas al desprendimiento de material fino o cenizas propias del carbón mineral cuando este se manipula y se ejerce algún tipo de fuerza sobre la roca, la humedad del mineral también juega un papel crucial en las emisiones, puesto que cuando el material está más seco las emisiones aumentan y cuando está más húmedo el desprendimiento de partículas finas disminuye.

El segundo tipo de fuente de emisión importante son las fuentes lineales, especialmente por el tránsito de vehículos pesados en vías destapadas.

Finalmente, se encuentran las emisiones por fuentes fijas puntuales, que se presentan en los equipos de combustión interna, aunque es de destacar, por el tamaño de las chimeneas y el tiempo de operación de los mismos, las emisiones son casi despreciables, sin embargo, también se tuvieron en cuenta en el inventario de emisiones (Arrieta, Álvaro, 2016, pág. 48)⁷. Por el contrario, las fuentes fijas, es decir, la industria es la principal fuente de emisión de $PM_{2.5}$.

⁶ Canales-Rodríguez Miguel Á., Quintero-Núñez Margarito, Castro-Romero Telma G. y García-Cuento Rafael O., 2014, Universidad Autónoma de Baja California Programa Doctorado en Ciencias del MYDCI Instituto de Ingeniería, Las partículas respirables PM_{10} y su composición química en la zona urbana y rural de Mexicali Baja California en Mexico, Mexicali Baja California México, 2014, pág. 14, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

⁷ Arrieta Fuentes Alvaro Javier, 2016, Facultad de Posgrados Ingeniería Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Dispersión de material particulado (PM_{10}), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos, 2016, pág. 48, párrafo 3, fecha de consulta: 2019.



Gráfica 1. “Contribución porcentual de las fuentes emisoras de la CDMX, 2016”.
 Datos obtenidos Infografías Inventario de emisiones de la Ciudad de México 2016
 Contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero⁸



El transporte es el principal emisor de partículas, contribuye con 53% de PM10



Los tractocamiones representan el 3% de la flota de la CDMX y emiten el 14% de PM10



El 84% de los vehículos de carga pesados son de competencia federal, contribuyen con +1700 ton. de PM10



La suspensión de polvos en vialidades pavimentadas ocasionada por el paso de los vehículos, también es una fuente de generación de partículas

Tabla 1. “Emisiones a la atmósfera, partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}”.
 Datos obtenidos de Infografías Inventario de emisiones de la Ciudad de México 2016
 Contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero

⁸ Cortés Eunice, Pelcastre Saira y Rodríguez Velia, 2016, Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Infografías Inventario de emisiones de la Ciudad de México 2016 Contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero, Ciudad de México, 2018, pág. 7, fecha de consulta: 2019.

La extracción de las partículas suspendidas de la atmósfera se produce por diversos mecanismos, bien sea por deposición seca o por deposición húmeda, cuya eficacia depende esencialmente del diámetro, composición química y propiedades termodinámicas de las partículas (Arciniégas, Cesar, 2011, pág. 197)⁹. La deposición de partículas también genera efectos adversos en el medio ambiente y los materiales de las edificaciones, además de que contribuyen a la generación de neblina regional y a los problemas de visibilidad.

Como dato relevante, se ha divulgado que la emisión de contaminantes de origen vehicular constituye una de las causas más importantes en el deterioro de la calidad del aire, lo que afecta la composición química de la atmósfera a nivel local y regional (Arciniégas, Cesar, 2011, pág. 197)¹⁰.

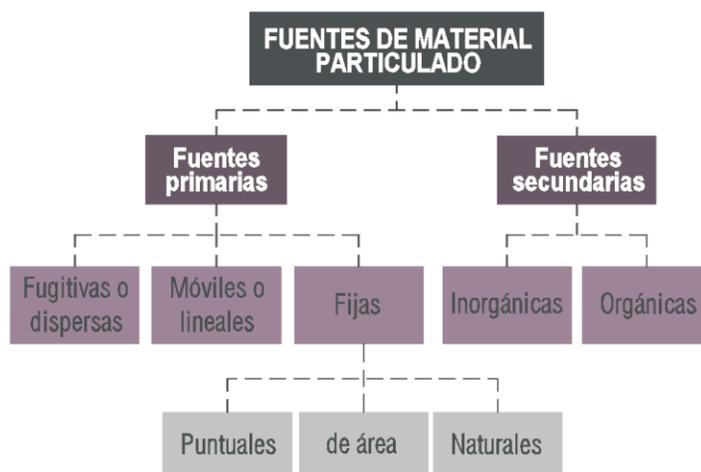


Diagrama 1. "Fuentes de emisión de partículas suspendidas".

Autoría propia.

1.1.2 Factores que inducen a su presencia

Se cuentan con diversos estudios sobre la contaminación por partículas en suspensión, con diámetro menor a $10\mu\text{m}$ y concentración mayor a $60\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en estaciones de monitoreo en la Zona Metropolitana del Valle de México, el estudio comprende los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre; se manejó información por día, fines de semana y días de pago quincenales,

⁹ Arciniégas Suárez César Augusto, Revista Luna Azul núm. 34, enero-junio, 2012, Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM_{10} , Universidad de Caldas, Manizales Colombia, 2012, pág. 197, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

¹⁰ IBIDEM

para establecer el comportamiento del contaminante; se encontró que las estaciones del año y el uso de suelo tienen una influencia significativa en los niveles de PM_{10} ; en ésta investigación se distinguieron tres horarios que presentan máximos de contaminación: el jueves y el viernes son los días más contaminados de la semana y cuando el día de pago se encuentra entre semana el número de eventos de contaminación aumenta (Vázquez, Carlos; Beristain, Fernando; Audelo Estela, 2012, pág. 3)¹¹.

1.1.3 Clasificación, composición y patrón de comportamiento

Los contaminantes atmosféricos se han catalogado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio. Los contaminantes criterio son los más comunes, se miden de manera continua y se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos, se les denomina de esta forma debido a que fueron objetos de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire; los contaminantes dentro de esta categoría son: partículas suspendidas menores a 10 y 2.5 micrómetros, el ozono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno, y el monóxido de carbono (García, María, 2014, pág. 35)¹².

Los contaminantes del aire se clasifican de acuerdo a:

- Su origen: Contaminantes primarios: sustancias emitidas a la atmósfera, ya sea por actividades antropogénicas o por procesos naturales, en forma directa al aire. Contaminantes secundarios: son el resultado de la reacción de los contaminantes primarios entre sí o con los componentes básicos del aire.
- Su estado físico: Gases: también incluye vapores. Partículas: líquidas o sólidas.
- Por su composición química: Orgánicos: aquellos que contienen hidrógeno y carbono.
- Inorgánicos: aquellos que no contienen compuestos con carbono, excepto los compuestos simples del carbono (CO_2 , SO_x , NO_x).

¹¹ Vázquez Carlos, Beristain Fernando y Audelo Estela, 2012, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Caracterización del patrón de comportamiento de las partículas en suspensión en el Valle de México, Ciudad de México, 2012, pág. 3, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

¹² García Chávez María de los Ángeles, 2014, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Análisis correlacional entre el incremento de los automóviles particulares y la concentración de partículas menores a diez micrómetros (PM_{10}) en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca durante el periodo 2006-2011, 2014, pág. 35, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

- Por el sitio en el que se encuentran: Aire del exterior: aire atmosférico. Aire del interior: dentro de inmuebles.

Debido a que son de tamaño, forma y composición variada, para su identificación se han clasificado en términos de su diámetro aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad, que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula. Las partículas suspendidas se clasifican principalmente por su tamaño, se dividen en la fracción gruesa o respirable con diámetro de partículas menores a $10\ \mu\text{m}$ y mayores a $2.5\ \mu\text{m}$, definida como PM_{10} (Trituración) y una fracción fina con diámetro de partícula menor a $2.5\ \mu\text{m}$, definida como $\text{PM}_{2.5}$. (Combustión) (Arciniégas, Cesar, 2011, pág. 196)¹³.

La composición de las partículas en suspensión puede ser una mezcla muy variada; por ello, se clasifican de acuerdo al diámetro que poseen, y no por su composición.

- Partículas ultrafinas: con un diámetro igual o inferior a $0,1\ \mu\text{m}$, pueden llegar a pasar del alvéolo pulmonar a la sangre.
- PM_{10} : suelen llegar más allá de la garganta.
- $\text{PM}_{2.5}$: pueden llegar hasta los pulmones.

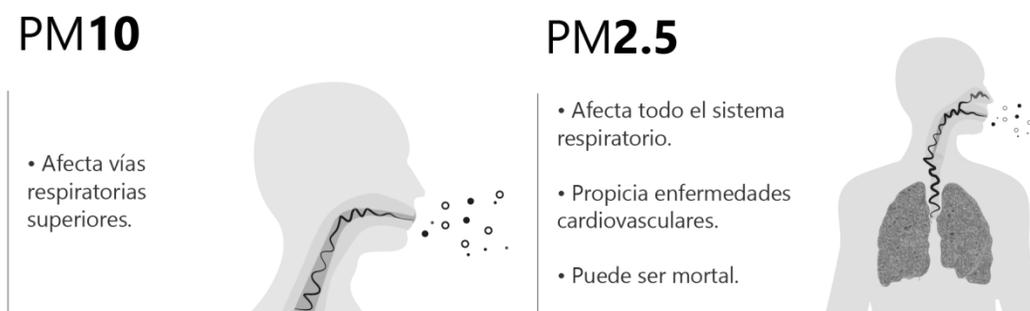


Imagen 2. "¿Cuáles son los efectos en la salud? Material particulado PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$."

Recuperado de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/Principales-contaminantes.aspx>¹⁴

¹³ Arciniégas Suárez César Augusto, Revista Luna Azul núm. 34, enero-junio, 2012, Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM_{10} , Universidad de Caldas, Manizales Colombia, 2012, pág. 196, párrafo 2, fecha de consulta: 2019.

¹⁴ Área Metropolitana del Valle de Aburrá, <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/Principales-contaminantes.aspx>, fecha de consulta: 2018.

Estas partículas en suspensión son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos (Arciniégas, Cesar, 2011, pág. 196)¹⁵.

Los diferentes elementos presentes en las muestras de las partículas suspendidas pueden estar asociados con materia mineral, aerosol marino, compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno y compuestos de carbono. Se caracterizaron mediante análisis físico-químicos de muestras de partículas suspendidas, los metales presentes en el aire fracción respirable PM₁₀ detectando en los resultados Al, Ca, Fe, Mg y Zn en todas las estaciones de monitoreo de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y en menor proporción se encontró Pb y algo de Ni y Cu. Dividiendo los elementos en dos grandes grupos: elementos de corteza terrestre o trazadores de suelo (Na, K, Mg, Ca, Fe y Mn) y elementos parcialmente antropogénicos (V, Cr, Cd, Ni, Cu, Pb, Zn y As) dependiendo de la fuente de origen y la ruta de viaje de la masa de aire. Todos estos antecedentes despiertan interés debido a que cerca del 75 a 90% de metales como Cd, Pb, Zn, V y Ni se encuentran en la fracción de partículas PM₁₀ (Rojano, Roberto; Arregoces, Heli; Restrepo, Gloria; 2014, pág. 4)¹⁶.

1.1.4 Características

Las partículas suspendidas son una compleja combinación de múltiples materiales sólidos o líquidos suspendidos en el aire. Estas varían sus características (tamaño, forma y composición) de acuerdo con su origen. El tamaño determina en gran medida el tiempo en que éstas permanecen en suspensión: las más grandes se sedimentan rápidamente, mientras que las más pequeñas pueden permanecer en suspensión durante horas o hasta días.

¹⁵ Arciniégas Suárez César Augusto, Revista Luna Azul núm. 34, enero-junio, 2012, Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM₁₀, Universidad de Caldas, Manizales Colombia, 2012, pág. 196, párrafo 5, fecha de consulta: 2019.

¹⁶ Rojano Roberto, Arregoces Heli y Restrepo Gloria, 2014, Grupo de Investigación GISA Facultad de Ingeniería Universidad de La Guajira, Composición elemental y fuentes de origen de partículas respirables (PM₁₀) y partículas suspendidas totales (PST) en el área urbana de la ciudad de Riohacha, Colombia, 2012, pág. 4, párrafo 4, fecha de consulta: 2019.

- Tamaño: El tiempo que las partículas permanecen suspendidas en el aire dependen principalmente de su tamaño; el tamaño de las partículas se define por su diámetro aerodinámico y la distribución granulométrica de este tipo de partículas una vez emitida es relativamente constante (Canales, Miguel; Quintero, Margarito; Castro, Telma; García, Rafael, 2014, pág. 14)¹⁷, estas partículas pueden variar su tamaño y composición a través de varios procesos como el vapor de condensación, la evaporación, la coagulación a través de las colisiones del movimiento browniano por la hidrodinámica y fuerzas gravitacionales o eléctricas
- Densidad: Las partículas suspendidas no se sedimentan en períodos cortos sino que permanece suspendido en el aire debido a su tamaño y densidad (Arciniégas, Cesar, 2011, pág. 196)¹⁸.
- Dispersión: Los investigadores de la contaminación del aire concuerdan en que la dispersión atmosférica en los terrenos complejos puede ser muy diferente y mucho más complicada que en los terrenos planos. La dispersión de un contaminante en la atmósfera se puede estimar y predecir por medio de un modelo de dispersión, investigadores como Holmes & Morawska, lo definen como una herramienta para estimar y calcular la concentración y flujo de una sustancia sobre la atmósfera, respecto a sus fuentes de emisión (Arrieta, Álvaro, 2016, pág. 45)¹⁹.
- La topografía y la meteorología son factores fundamentales en la baja dispersión de las partículas suspendidas por la baja velocidad y confluencia del viento que se ve favorecida por las características topográficas, para el análisis de la dispersión se selecciona la velocidad y dirección del viento y el comportamiento que tiene el mismo en torno a la topografía y su influencia como factor determinante en la dispersión de un contaminante (Arrieta, Álvaro, 2016, pág. 52)²⁰.

¹⁷ Canales-Rodríguez Miguel Á., Quintero-Núñez Margarito, Castro-Romero Telma G. y García-Cuento Rafael O., 2014, Universidad Autónoma de Baja California Programa Doctorado en Ciencias del MYDCI Instituto de Ingeniería, Las partículas respirables PM₁₀ y su composición química en la zona urbana y rural de Mexicali Baja California en Mexico, Mexicali Baja California México, 2014, pág. 14, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

¹⁸ Arciniégas Suárez César Augusto, Revista Luna Azul núm. 34, enero-junio, 2012, Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM₁₀, Universidad de Caldas, Manizales Colombia, 2012, pág.196 , párrafo 5, fecha de consulta: 2019.

¹⁹ Arrieta Fuentes Alvaro Javier, 2016, Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo, Dispersión de material particulado (PM₁₀), con Interrelación de factores meteorológicos y topográficos, 2016, pág. 45, párrafo 2, fecha de consulta: 2019.

²⁰ IBIDEM

- Concentración: Influencia de los parámetros meteorológicos velocidad del viento y precipitación en los niveles de concentración de PM_{10} y las partículas suspendidas totales (PST) (Rojano, Roberto; Arregoces, Heli; Restrepo, Gloria; 2014, pág. 8)²¹.

1.2 La contaminación en cifras

Los casos más relevantes sobre contaminación atmosférica en el siglo XX se refieren a Valle del Meuse, Bélgica; Donora, Pensilvania; y, Londres, Inglaterra. Las tres tragedias coincidieron con una condición meteorológica llamada inversión térmica.



Imagen 3. "La gran niebla de Londres, 1952".

Recuperado de <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1283846.descubren-que-causo-la-gran-niebla-de-londres.html>²²

En la Ciudad de México hay dos épocas climáticas durante el año: la estación invernal seca (Noviembre- Abril) y la de lluvia (Mayo-Octubre). Durante la época seca son frecuentes las inversiones térmicas, en las que una capa de aire frío, denso y térmicamente estable queda atrapada por la capa superior de aire caliente; situación que desaparece cuando el sol calienta el aire frío (entre las 9:00 y 10:00 horas) y los contaminantes se dispersan. La ciudad está sujeta a la influencia de sistemas anticiclónicos generados en el Golfo de México y en el Océano Pacífico, con estabilidad atmosférica por inhibición de la mezcla vertical del aire. Estas características

²¹ Rojano Roberto, Arregoces Heli y Restrepo Gloria, 2014, Grupo de Investigación GISA Facultad de Ingeniería Universidad de La Guajira, Composición elemental y fuentes de origen de partículas respirables (PM_{10}) y partículas suspendidas totales (PST) en el área urbana de la ciudad de Riohacha, Colombia, 2012, pág. 8, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

²² El Siglo, Cia. Editora de la Laguna S.A de C.V., <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1283846.descubren-que-causo-la-gran-niebla-de-londres.html>, fecha de consulta: 2018.

generan un aumento resultante en la concentración de los contaminantes que causa daño a la salud.

Entre 1992 y 1994 la Dirección de Epidemiología de la Secretaría de Salud (SSA) llevó a cabo un análisis de 81 episodios en el que se identificó la asociación entre concentraciones altas de contaminantes y aumento de la incidencia de síntomas como: disnea, cefalea, irritación de las conjuntivas y de las mucosas respiratorias, tos productiva, odinofagia y disfonía. En otros estudios, sobre las causas de mortalidad en la población general entre 1990 y 1992 y sobre la mortalidad infantil de 1993 a 1995, se identificó una asociación entre el aumento en la concentración de partículas suspendidas, ozono y dióxido de nitrógeno, y el aumento de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en personas mayores de 65 años y en niños menores de 5 años (Vallejo, Maite; Jáuregui, Katherine; Hermosillo, Antonio; Márquez, Manlio; Cárdenas, Manuel; 2020, pág. 60)²³.

En la Ciudad de México una contingencia ambiental es motivo de alerta ambiental, toda situación eventual y transitoria declarada por las autoridades competentes cuando, con base en análisis objetivos y/o en el monitoreo de la contaminación ambiental, se prevé o se presenta una concentración de contaminantes o un riesgo ecológico derivados de actividades humanas o fenómenos naturales que puedan afectar la salud de la población o al medio ambiente.²⁴



Imagen 4. Obtenida desde el edificio de la Unidad de Posgrado, UNAM, orientación norte el Martes 14 de Mayo de 2019. "Activación de la contingencia ambiental FASE I por contaminación ambiental por PM_{2.5} y Ozono en la estación de monitoreo de Nezahuacoyotl". Autoría propia.

²³ Vallejo Maite, Jáuregui Katherine, Hermosillo Antonio, Márquez Manlio y Cárdenas Manuel, 2012, Academia Nacional de Medicina de México A.C., Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la ciudad de México, 2012, pág. 60, párrafo 8, fecha de consulta: 2019.

²⁴ Calidad del aire de la CDMX; <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>, fecha de consulta: 2020.



Activación del programa para contingencia ambientales atmosféricas (PCAA) en la ZMVM Contingencias (Fase 1 y Fase 2) Año 2019															
Contaminante	Zona	Valor del INDICE	Inicio				Durante				Levantamiento				
			Estación	Día de la semana	Fecha de activación	Hora	Fase	Valor Máximo	Estación	Fecha	Hora	Fecha de desactivación	Hora	Valor de desactivación	
PM2.5	NE	161	Nezahualcoyotl	Martes	14.05.2019	15:00	Extraordinaria	161	Nezahualcoyotl	14.05.2019	09:00	17.05.2019	19:00	96.00	
Ozono	SO	142	Pedregal	Martes	14.05.2020	15:00		149	Tultitlán	14.05.2019	16:00	17.05.2020	19:00	106.00	
Ozono	NO	154	Camarones	Martes	16.04.2019	17:00	I	154	Camarones	16.04.2019	17:00	18.04.2019	15:00	114.00	
Ozono	SO	152	Pedregal	Miércoles	10.04.2019	17:00	I	154	Nezahualcoyotl	10.04.2019	18:00	11.04.2019	15:00	126.00	
Ozono	SO	155	Pedregal	Sábado	30.03.2019	15:00	I	155	Pedregal	30.03.2019	15:00	31.03.2019	15:00	138.00	
PM10	NE	157	Villa de las flores	Martes	01.01.2019	09:00	I Regional	164	Villa de las flores	01.01.2019	11:00	02.01.2019	10:00	105.00	

Tabla 2. "Activación del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) en la ZMVM, Contingencias (Fase I y Fase II)".

Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx>²⁵

Desde principios de los años noventa se han implementado diversos programas gubernamentales con el objetivo de disminuir la emisión de contaminantes en la zona. A pesar de ello y principalmente por el origen multifactorial de la contaminación, el riesgo de sobrepasar las normas establecidas²⁶ sigue estando presente (Vallejo, Maite; Jáuregui, Katherine; Hermosillo, Antonio; Márquez, Manlio; Cardenas, Manuel; 2020, pág.)²⁷.

El análisis de las tendencias de los contaminantes atmosféricos a lo largo del tiempo permite conocer la existencia de un problema de degradación o mejora de la calidad del aire, a fin de poder evaluar si una ciudad se acerca o no a lo que se conoce como buena calidad del aire. Actualmente, se cuenta con un inventario de emisiones de contaminantes de la ZMVM lo cual nos ayuda a dimensionar el efecto de dichos contaminantes.

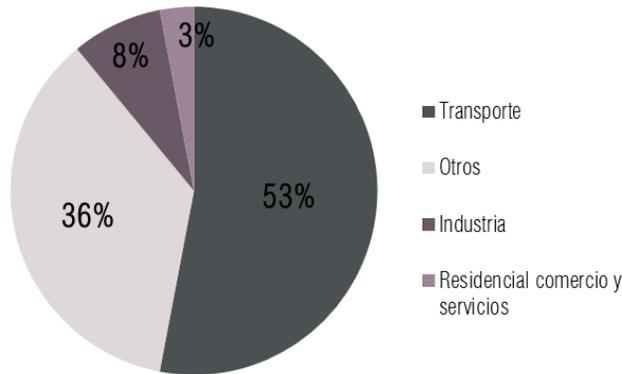
²⁵ Calidad del aire de la CDMX; <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>, fecha de consulta: 2018.

²⁶ Las normas de calidad del aire establecen las concentraciones máximas de contaminantes en el ambiente que no debieran ser excedidas con determinada frecuencia, a fin de garantizar la salud de la población.

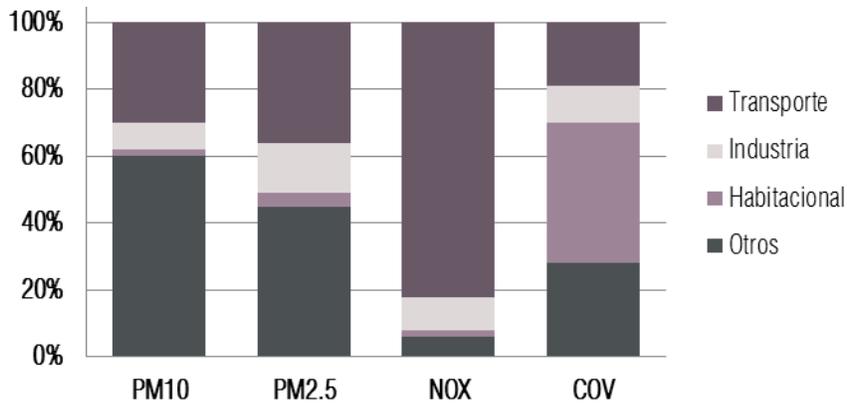
²⁷ IBIDEM

1.2.1 Impacto ambiental

Para comprender la realidad de la zona de estudio, es necesario conocer los elementos cualitativos y cuantitativos que conforman el territorio, utilizando información de instituciones como INEGI, CONAPO, INAFED, CONEVAL, RAMA²⁸, etc. para obtener datos estadísticos. La lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono, las inversiones térmicas son algunos de los ejemplos a nivel mundial más notorios a causa de la contaminación atmosférica, finalmente, el año 2004, fué el que se mantuvo por encima de la NOM-025-SSA1²⁹ en más de 50 veces.



Gráfica 2. "Fuentes de emisión de partículas PM10".
 Datos obtenidos de <http://www.aire.cdmx.gob.mx>³⁰.



Gráfica 3. "Contribución de emisiones contaminantes por sector (precursores de ozono y partículas)".
 Datos obtenidos de <http://www.aire.cdmx.gob.mx>³¹.

²⁸ CONAPO: Consejo Nacional de Población

INAFED: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal

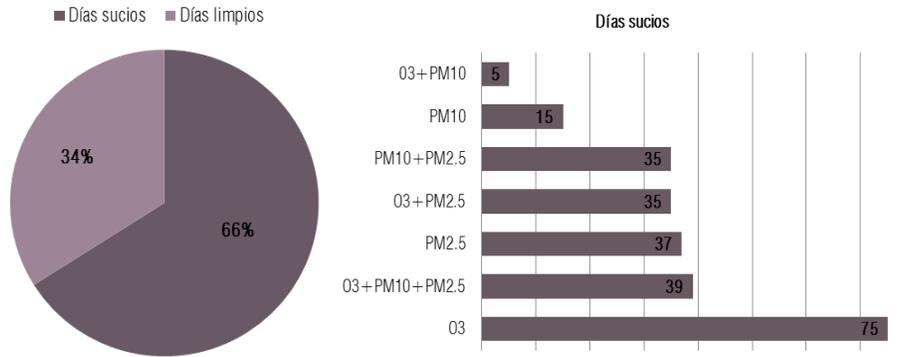
CONEVAL: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social

RAMA: Red Automática de Monitoreo Atmosférico

²⁹ Norma Oficial Mexicana que establece los valores límite permisibles de concentración de partículas suspendidas .

³⁰ Calidad del aire de la CDMX; <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>, fecha de consulta: 2018.

³¹ IBIDEM



Gráfica 4. "El ozono y las partículas son los contaminantes responsables del deterioro de la calidad del aire".

Datos obtenidos de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>³²

1.2.2 Afectaciones multidisciplinarias

En un estudio realizado en México, se encontró que los contaminantes ozono, monóxido de carbono, PM₁₀ y los factores climáticos temperatura y humedad, mostraron diferente relación con las infecciones respiratorias agudas (Vazquez, Carlos; Beristain, Fernando; Audelo Estela, 2012, pag. 3)³³.

· Aspecto de salud:

De la diversidad de contaminantes atmosféricos emitidos, los más estudiados para determinar la calidad del aire, son los llamados contaminantes criterio³⁴ (García, María, 2014, pag. 16), recalando que los que mayor efecto tienen sobre la salud de la población son el ozono y las partículas suspendidas menores a diez micrómetros por lo que son el contaminante que mayormente se ha asociado a eventos de mortalidad y morbilidad en la población y son causa de ciertos problemas para la salud humana que van desde tos, dolores de cabeza, malestares en la garganta, irritación y lagrimeo de los ojos, hasta disminución de la capacidad respiratoria, aumento de ataques de asma, enfermedades respiratorias crónicas y agudas, el grado de afectación depende tanto de propiedades físicas y químicas del aire, de la dosis que se inhala y

³² IBIDEM

³³ Vázquez Carlos, Beristain Fernando y Audelo Estela, 2012, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Caracterización del patrón de comportamiento de las partículas en suspensión en el Valle de México, Ciudad de México, 2012, pág. 3, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

³⁴ García Chávez María de los Ángeles, 2014, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Análisis correlacional entre el incremento de los automóviles particulares y la concentración de partículas menores a diez micrómetros (PM₁₀) en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca durante el periodo 2006-2011, Estado de México, 2014, pág. 16, párrafo 2, fecha de consulta: 2019.

del tiempo de exposición, éste último se puede definir como el contacto entre una sustancia química y la barrera externa del cuerpo humano, esta barrera externa puede ser la piel, la boca, las narinas o cualquier lesión externa.

La exposición aguda se presenta a concentraciones elevadas de contaminantes en corto tiempo, que logran ocasionar daños sistémicos al cuerpo humano, se relaciona con enfermedades de vías respiratorias (bronquitis, neumonía, tos, entre otras).

La exposición crónica implica, tanto concentraciones bajas como altas de contaminantes en largos periodos. Los efectos a la salud son similares a los de una exposición aguda. Existen informes del incremento de la mortalidad en relación con exposición crónica, aunque en la mayoría de los casos se trata de adultos con problemas respiratorios y cardiovasculares degenerativos.

Los grupos de población que podrían ser más vulnerables a los efectos de los contaminantes del aire son las personas con una predisposición genética, los recién nacidos, niños, personas de edad avanzada, y aquellos con ciertas enfermedades como diabetes o con padecimientos cardiacos o respiratorios; y los que por su actividad, lugar de residencia o una situación específica están expuestos a altos niveles de concentración de contaminantes en el aire.

Estudios epidemiológicos demuestran que la exposición a diferentes contaminantes ambientales, incluso a niveles por debajo de la normas internacionales y nacionales, se asocian con un incremento en la incidencia de asma, severidad en el deterioro de la función pulmonar, así como mayor gravedad en la presentación de las enfermedades respiratorias de niños y adolescentes, además de síntomas comunes como la irritación ocular, tos, malestar en garganta y dolor de cabeza.

Datos obtenidos de recientes estudios permiten establecer que existe una relación espacial positiva y significativa de las emisiones de contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , CO , NO_x , COT y COV en el número de defunciones en la ZMVM, en especial en enfermedades isquémicas del corazón. Asimismo, la evidencia obtenida muestra que en los infartos agudos de miocardio no existe una relación directa con los contaminantes atmosféricos. Estos estudios predicen, a partir de sus resultados, que una disminución de PM_{10} en $10\mu g/m^3$ produciría una disminución del 17%

en el número de consultas por síntomas de enfermedades respiratorias. Algunos elementos traza presentes en PM_{10} y PST están clasificados como cancerígenos para los humanos tales como el V, Pb y Cd, se hizo uso de indicadores con capacidad de compra de bienes para estimar su condición económica; la carencia de servicios de salud se manifiesta en la mayoría de los habitantes de la zona (Arciniégas, Cesar, 2011, pag. 200)³⁵.

En México, se estima que 38 mil personas murieron entre 2001 y 2005 por cáncer de pulmón, enfermedades cardiopulmonares e infecciones respiratorias relacionados con la exposición a la contaminación atmosférica (García, María, 2014, pag. 23)³⁶.

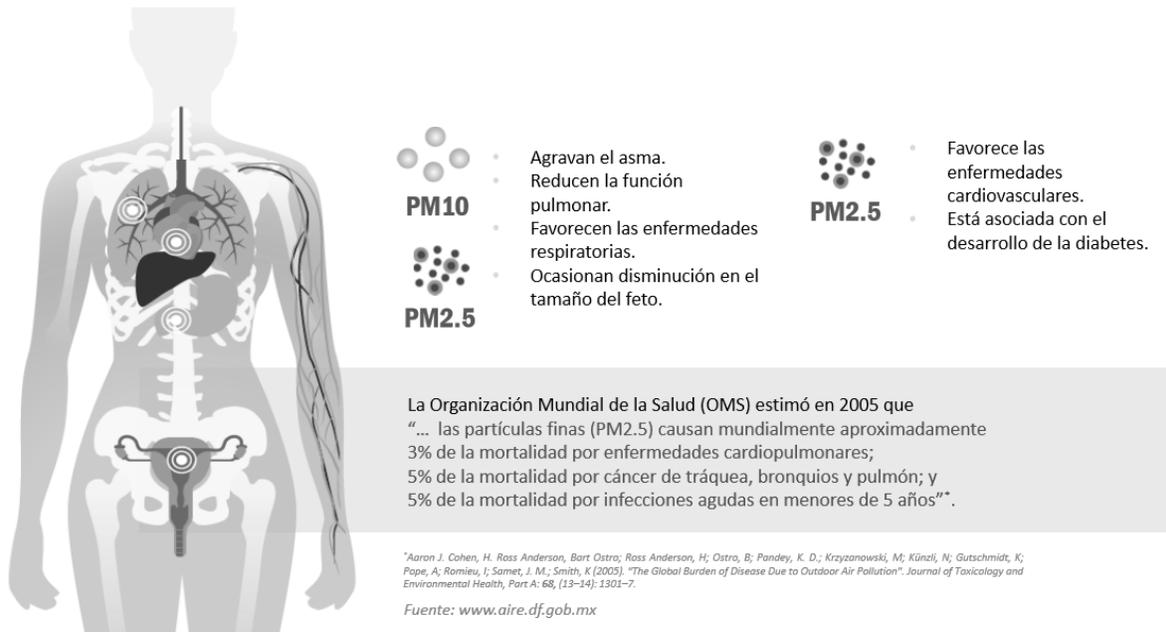


Imagen 5. “Efectos en la salud por partículas”.

Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>³⁷.

³⁵ Arciniégas Suárez César Augusto, Revista Luna Azul núm. 34, enero-junio, 2012, Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM_{10} , Universidad de Caldas, Manizales Colombia, 2012, pág. 200, párrafo 6, fecha de consulta: 2019.

³⁶ García Chávez María de los Ángeles, 2014, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Análisis correlacional entre el incremento de los automóviles particulares y la concentración de partículas menores a diez micrómetros (PM_{10}) en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca durante el periodo 2006-2011, Estado de México, 2014, pág. 23, párrafo 2, fecha de consulta: 2019.

³⁷ Calidad del aire de la CDMX; <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>, fecha de consulta: 2018.

Impactos en la salud	
	Olores
	Dolores
	Trombosis
	Asma
	Retraso en el crecimiento
	Muerte

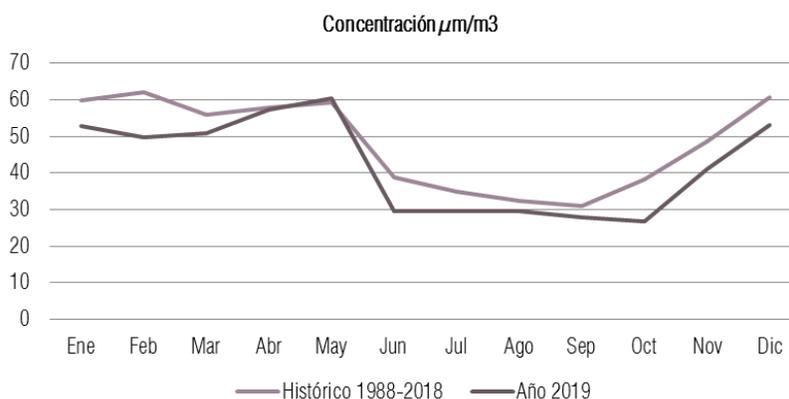
Tabla 3. "Impactos en la salud".

Datos obtenidos de la Presentación "Contaminación por partículas, ¿De dónde vienen?"³⁸ del Centro de Ciencias de la Atmósfera.

· Aspecto demográfico

En consecuencia, las partículas inhalables PM₁₀, alcanzan cerca al 93% en las partículas suspendidas totales en la zona de influencia vehicular. Esto significa que estos metales están presentes preferiblemente en la fracción inhalable y podrían ser un riesgo para la salud

· Aspecto ambiental

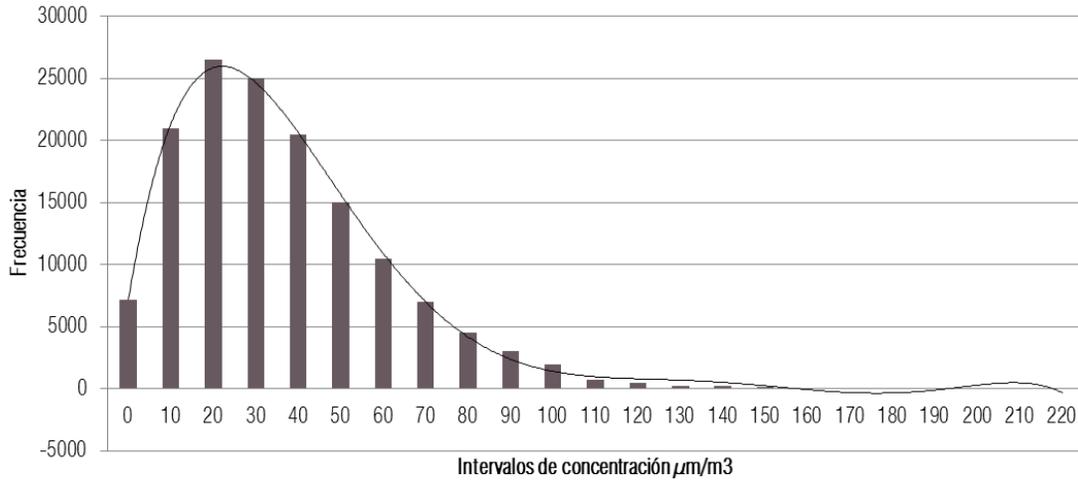


Promedio mensual	
Históricamente el mes con el promedio máximo es:	Diciembre
En 2019 el mes con el promedio máximo fue:	Mayo

Gráfica 5. "Promedio mensual de las concentraciones horarias del monitoreo continuo de PM₁₀".

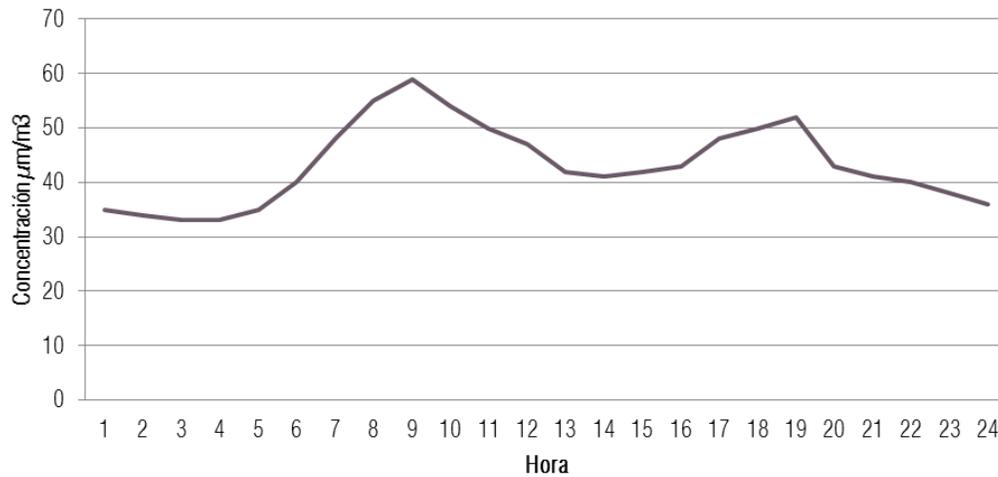
Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>

³⁸ Vega, Elizabeth, Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, presentación: "Contaminación por partículas, ¿De dónde vienen?", fecha de consulta: 2019



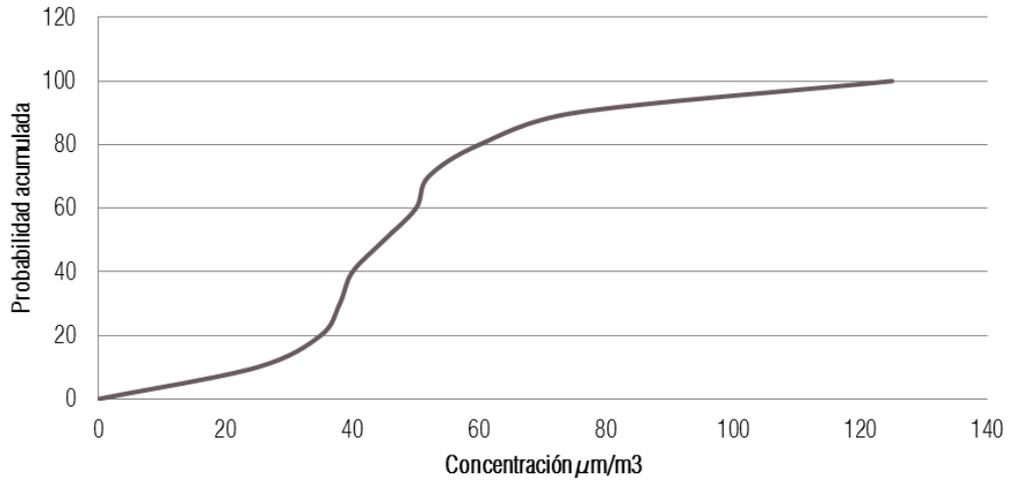
Histograma	
Estadística de las concentraciones horarias hasta noviembre de 2019	
Promedio	43.4 $\mu\text{m}/\text{m}^3$
Mediana	38 $\mu\text{m}/\text{m}^3$
Máximo	653 $\mu\text{m}/\text{m}^3$
Mínimo	1 $\mu\text{m}/\text{m}^3$
Desviación estandar	28.2 $\mu\text{m}/\text{m}^3$
No. de datos	147,346.00

Gráfica 6. "Frecuencia de las concentraciones horarias del monitoreo continuo de PM₁₀".
 Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>



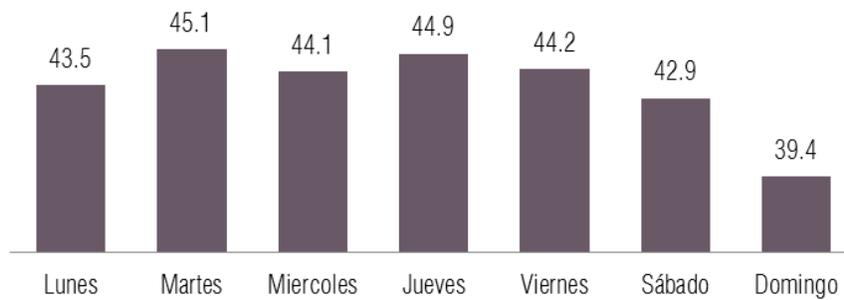
Perfil horario	
Este contaminante tiene una distribución bimodal con un pico matutino y otro vespertino; los máximos del año 2019 se registran entre:	7:00 y 12:00 de la mañana 16:00 a 21:00 de la tarde

Gráfica 7. "Comportamiento horario del monitoreo continuo de PM₁₀".
 Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>



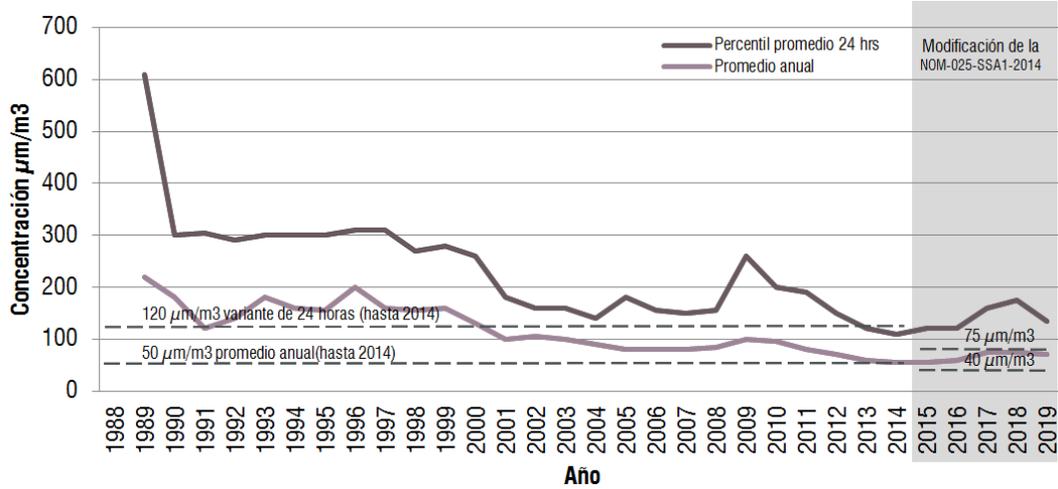
Distribución acumulada	
Mayor porcentaje de muestreos con concentraciones promedio de 24 h superiores a 120 μm/m ³ en 2019	56% en 1989

Gráfica 8. “Función de la distribución acumulada de los muestreos de 24 h del monitoreo manual de PM₁₀”.
Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>



Días de la semana	
Durante el 2019 el día de la semana con el promedio máximo fue	Martes

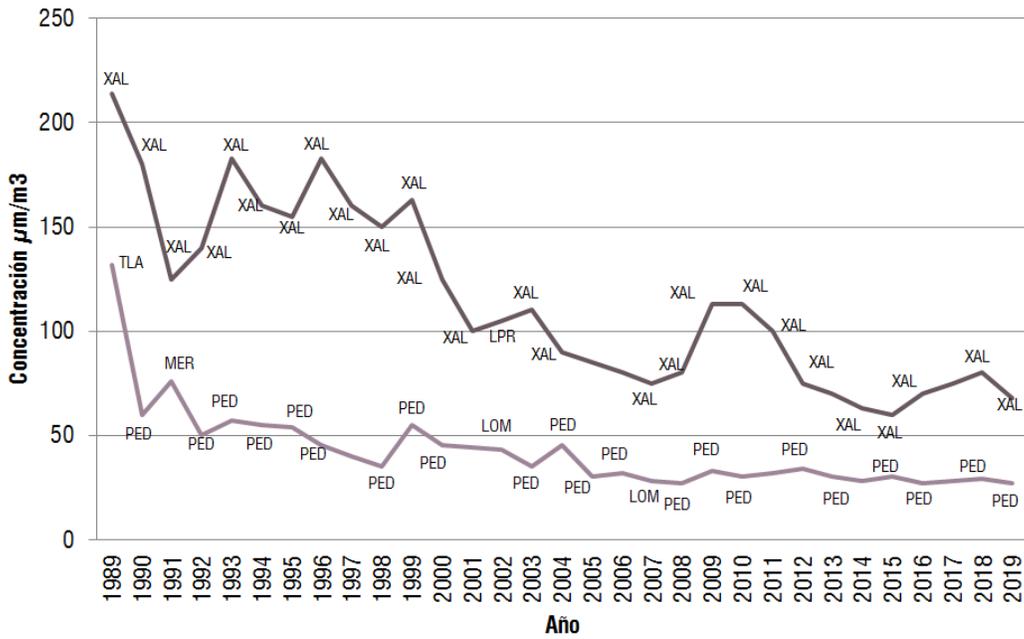
Gráfica 9. “Promedio de las concentraciones horarias del monitoreo continuo de PM₁₀”.
Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>



Cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana	
El valor ñpara el promedio anual en 2018 fue:	71 µm³/m³
El valor máximo para el promedio de 24 horas en 2018 fue:	182 µm³/m³

Gráfica 10. "Cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas para PM₁₀".

Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>



Datos de muestreo de 24 horas red manual	
Históricamente la estación con la mayor concentración es:	Xalostoc (XAL)
La tasa de cambio para el promedio anual durante el periodo 1989 a 2018 es:	-73%

Gráfica 11. "Promedio anual de 24 h del muestreo manual de PM₁₀".

Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>

1.2.3 Propuestas de soluciones multidisciplinarias y mejoras

La caracterización del problema del aire surge como una cuestión técnico-científica, la cual no involucraba necesariamente la intervención gubernamental. Sin embargo, era necesario convertir un problema público en un asunto de gobierno para que éste se atendiera en mayor medida. Debido a la novedad de la problemática ambiental, el plantear propuestas más profundas e integrales de política ambiental, resultaba una tarea difícil, ya que no se contaba con los recursos humanos, técnicos, administrativos, políticos e institucionales para abordar esta problemática tan compleja. La acción gubernamental no podría, en este sentido, desconocer la resistencia potencial por parte de los sectores organizados de la sociedad civil, en caso de que sus medidas de protección ambiental afectaran sus intereses y provocasen reacciones de oposición respecto a alguna norma o disposición legal. Este potencial de conflicto entre diversos intereses llevó a la definición del problema del aire al aspecto más específico de todas sus facetas: la salud.

Las probables soluciones a la contaminación por PM_{10} serían: la implementación de un programa de transporte escolar obligatorio, reforzar los programas de restricción de circulación para el transporte altamente contaminante, la reforestación de las áreas dañadas y un control estricto para evitar la invasión de zonas verdes y de reserva ecológica con unidades habitacionales.



La participación del viento en la arquitectura

- La contaminación del aire en los espacios interiores
- La ventilación natural y su óptimo aprovechamiento en la arquitectura
 - Barreras
 - La fachada como elemento intermedio

CAPÍTULO II

La participación del viento en la arquitectura

Los problemas relacionados con la calidad del aire en un ambiente interior (CAI)¹ han ido aumentando en nuestra sociedad a lo largo de los últimos años, convirtiéndose en algo relativamente frecuente. Ello se debe, principalmente, a las características de los edificios que se están construyendo, a las técnicas de construcción, a algunos de los materiales que se están utilizando y a mantenimientos defectuosos (Berenguer, María, 1992, pág. 1)².

Declaraciones de Fuller sobre el programa de un plano de proyecto mundial en Architectural Design “Es probable que si los arquitectos y estudiantes de arquitectura, pudieran ampliar progresivamente sus conocimientos de física, química, matemáticas, biología, sicología, economía y tecnología industrial, podrían asimilar mas rápida y profundamente las ideas de los más adelantados hombres de ciencia, y su programa de trabajo podría adquirir de un año en año mayor extensión y estarían en intensión de utilizar al máximo los recursos científicos humanos, de mejorar la planificación de la civilización urbana mundial, los instrumentos mismos del proyecto y renovar los métodos operativos” (Puppo, Ernesto y Puppo, Giorgio Alberto, 1972, pág. 73)³ de forma tal propone que el arquitecto debe diseñar y construir espacios saludables, habitables y confortables para la mente, el cuerpo y el espíritu de los usuarios.

2.1 La contaminación del aire en los espacios interiores

Es siempre deseable que se pueda disponer de ventilación natural en el interior de los espacios tomando en consideración que el aire procedente del exterior se combina con el

¹ Calidad del aire interior o indoor air quality (IAQ) se refiere a la calidad del aire dentro y alrededor de los edificios y estructuras, especialmente en lo que respecta a la salud y la comodidad de los ocupantes del edificio; como lo menciona la EPA United States Environmental Protection Agency es necesario comprender y controlar los contaminantes comunes en interiores puede ayudar a reducir el riesgo de problemas de salud en interiores.

² Berenguer Subils María José, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014, NTP 431: Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores, España, 1992, pág. 1, párrafo 2, fecha de consulta: 2019.

³ Puppo Ernesto y Puppo Giorgio, Marcombo Boixareu Editores, 1979, Acondicionamiento natural y arquitectura: ecología en arquitectura, Barcelona España, 1979, pág. 73, fecha de consulta: 2019.

del interior a través de puertas y/o ventanas de ello, resulta necesario decir que a través de éste intercambio pueden existir diversos tipos de contaminaciones tales como:

- La contaminación interior:

Puede tener como origen al propio individuo, al trabajo, a la utilización inadecuada de productos y a la contaminación cruzada procedente de otras zonas poco ventiladas que se difunden hacia lugares próximos y los afectan.

- La contaminación exterior:

Entrada en el edificio de humos de escape de vehículos, gases de calderas, productos utilizados en trabajos de construcción y mantenimiento y aire contaminado previamente desechado al exterior, que vuelve a entrar a través de las tomas de aire acondicionado. Otro origen puede ser las infiltraciones a través del basamento como el radón.

Está demostrado que al aumentar la concentración en el aire exterior de un contaminante, aumenta también su concentración en el interior del edificio, aunque más lentamente, e igual ocurre cuando disminuye.

- La contaminación biológica:

No suele ser frecuente en los interiores de los edificios, pero en determinados casos puede provocar una situación sanitaria delicada.

- La contaminación debido a materiales empleados en la construcción:

La utilización de materiales inadecuados así como con defectos técnicos puede ser una causa habitual de la contaminación del aire interior.

Para sintetizar; las deficiencias más frecuentemente encontradas son consecuencia de alguno(s) de los factores siguientes:

- Un insuficiente suministro de aire fresco, como consecuencia de una elevada recirculación del aire o de un bajo caudal de impulsión.
- Una mala distribución y, consecuentemente, una mezcla incompleta con el aire exterior, que provoca estratificaciones del aire y diferencias de presión entre los distintos espacios y zonas del edificio.
- Una incorrecta filtración del aire debido a un mantenimiento incorrecto o a un inadecuado diseño del sistema de filtración.
- Una temperatura del aire y humedad relativa extremas o fluctuantes.

2.1.1 Calidad del aire interior

En el campo, generalmente, no preocupa la impureza del aire, sin embargo, en las grandes ciudades como en la Ciudad de México el aire esta frecuentemente contaminado por mas de 4 millones de toneladas de contaminantes en la atmósfera, 75% son de origen vehicular y 25% lo emanan fuentes fijas, registrándose contenidos de mas de 300 microgramos de partículas en suspensión por m³ de aire (promedio anual) (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 89)⁴.

La calidad del aire en el interior de un edificio es función de una serie de parámetros que incluyen la calidad del aire exterior, la compartimentación, el diseño del sistema de aire acondicionado, las condiciones en que este sistema trabaja y se revisa, así como la presencia de fuentes contaminantes y su magnitud.

El número de posibles contaminantes es enorme, ya que pueden tener diversos orígenes, los propios ocupantes del edificio pueden ser una de las fuentes más importantes, ya que el ser humano produce de forma natural dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua, partículas y aerosoles biológicos, siendo a la vez responsable de la presencia de otros contaminantes (Berenguer, María, 2014, pág. 3)⁵.

En cualquier estudio de ventilación deben considerarse las características del aire y del viento, ya que es de vital importancia evaluar la calidad del aire que introducimos en los espacios habitables (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 35)⁶.

⁴ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Víctor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 89, fecha de consulta: 2019.

⁵ Berenguer Subils María José, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014, NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo, España, 2014, pág. 3, párrafo 3, fecha de consulta: 2019.

⁶ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Víctor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 35, fecha de consulta: 2019.

- Acción de las condiciones exteriores sobre el ocupante del edificio, uso cotidiano y habitabilidad:

Los síntomas que se relacionan con una deficiente calidad del aire en el interior de un edificio son: dolor de cabeza, mareos, náuseas, fatiga, piel seca, irritación de ojos, congestión de senos nasales y tos, es a menudo difícil diferenciar entre los causados directamente por el medio ambiente y los de origen psicológico.

No hay que olvidar que un aire de pobre calidad provoca discomfort, pudiendo desencadenar reacciones psicológicas complejas, cambios de humor, de estado de ánimo y dificultades en las relaciones interpersonales.

2.1.2 Elementos que inciden

La contaminación del aire puede proceder de fuentes que se encuentren cerca o lejos del edificio elegido, es un tipo de contaminación que incluye, principalmente, gases orgánicos e inorgánicos derivados de la combustión como partículas suspendidas en el aire de origen diverso.

Existen casos en que estos contaminantes proceden del *exterior del edificio*, por lo que es necesario tener conocimiento sobre los datos del estado del aire exterior tal como la pureza, la temperatura, la humedad y el movimiento.

- Pureza y olores:

Los olores derivados de las industrias o acumulación de residuos y aglomeraciones humanas a pesar de no tener una acción directa sobre las condiciones esenciales y vitales de la respiración, tiene mucha influencia sobre las condiciones psíquicas de habitabilidad.

- Temperatura y humedad:

Ventilando naturalmente un espacio introducimos al interior las condiciones térmicas exteriores; la diferencia de temperatura entre interior y exterior influye sobre el movimiento del aire, es decir, sobre las relaciones entre presiones interiores y exteriores.

Se tiene en cuenta que la temperatura exterior tiene una curva de variación en el curso del día, y que la temperatura interior y humedad varían por el calor y evaporación de ocupantes

o por maquinarias, cocinas o instalaciones veremos cómo la dirección del flujo de aire exterior-interior es continuamente variable, a esto hay que agregar la variabilidad del viento como dirección e intensidad.

Las humedades pueden dar lugar a la proliferación microbiana, especialmente mohos, que son fundamentalmente hongos microscópicos que se desarrollan muy bien en ambientes cálidos y húmedos, y que son capaces de producir toxinas (micotoxinas), algunas de las cuales pueden afectar al ser humano, además, pueden desprender olores debido a la producción de compuestos orgánicos volátiles microbianos.

El aire exterior puede estar en reposo o en movimiento, y puede estar contaminado de la atmósfera industrial⁷ (de las ciudades) y de partículas de tierra o arena transportadas por el viento.

Las distintas fuentes de contaminación exteriores pueden proceder, por ejemplo, de las industrias cercanas, si las hubiera, en forma de gases derivados de la combustión, como el dióxido de azufre, compuestos orgánicos volátiles o partículas en suspensión, o bien bacterias, virus, hongos y polen procedentes de la vegetación y flora microbiana ambiental o de animales (Álvarez, T., Peñahora, M., Sánchez, Isidro, 2015, pág. 25)⁸.

Los trabajos de demolición o construcción favorecen la generación de polvo y partículas en suspensión y, además, pueden dejar al descubierto materiales de revestimiento con efectos nocivos, tales como el amianto.

Las personas más expuestas a los riesgos derivados de estos contaminantes van a ser los propios trabajadores de las obras; pero también puede verse afectada cualquier persona que se encuentre en las inmediaciones de la misma. Cuando una de estas obras se encuentra

⁷ Característica de todas las grandes ciudades y particularmente aquellas que tienen periodos largos sin viento

⁸ Álvarez Bayona Teresa, Peñahora García María, Martín Sánchez Isidro y Centro nacional de nuevas tecnologías, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015, Calidad del ambiente interior en oficinas. identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo, Madrid España, 2015, pág. 25, párrafo 3, fecha de consulta: 2019.

muy cercana del área o zona objeto de estudio, se debe de prestar especial cuidado a la apertura de puertas o ventanas, ya que los contaminantes pueden entrar fácilmente y de forma continuada durante el tiempo que dure la obra, por lo que se recomienda abrir las puertas y ventanas el tiempo indispensable (Álvarez, T., Peñahora, M., Sánchez, Isidro., 2015, pág. 45)⁹.

Los materiales de construcción (pinturas, adhesivos, placas de techo, recubrimientos de suelos), muebles y decoración de un edificio pueden emitir compuestos orgánicos volátiles. En función de las características físicas del material y del modo de aplicación, es posible diferenciar entre emisiones procedentes de productos húmedos (pinturas, disolventes, barnices, masillas, etc.), de productos secos (madera, textiles, recubrimientos para suelos, etc.), de materiales captadores (madera, papel, textiles) y de productos de mantenimiento del edificio (materiales de conservación, productos de limpieza).

Los productos emitidos por los diferentes materiales dependerán de su composición química, así como del tipo de compuestos empleados en su tratamiento (Álvarez, T., Peñahora, M., Sánchez, Isidro., 2015, pág. 52).

Para intentar evitar posibles problemas de contaminación en un edificio, es conveniente prestar atención a las características de los materiales de construcción, a las actividades de trabajo que se realizarán normalmente y a los métodos que se utilizarán para limpiar y desinfectar el edificio, a pesar de esta dificultad, algunos productores han comenzado a estudiar sus productos y a incluir, habitualmente a petición del consumidor o del profesional de la construcción, información sobre las investigaciones realizadas siendo así cada vez más los productos calificados como “respetuosos con el medioambiente” o “no tóxicos” (Guasch, Juan, pág. 45.4)¹⁰.

⁹ IBIDEM

¹⁰ Guasch Farrás Juan, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, pág. 45.4, párrafo 10, fecha de consulta: 2019.

Los materiales de construcción y decoración del edificio, así como los muebles y demás elementos pueden ser la causa de la presencia en el aire de compuestos tales como formaldehído, vapores orgánicos, polvos y fibras (asbestos, vidrio, textiles) (Berenguer, María, 2014, pág. 2)¹¹.

Los *muebles* de madera son frecuentes, el principal problema radica en que, en general, la madera, ya sea para su protección o por motivos decorativos, se suele tratar con algún revestimiento (tintes, barnices, etc.), además de las resinas, adhesivos y colas utilizados, que son potenciales emisores de COV. Lo mismo suele ocurrir cuando se forran las paredes con papeles pintados, ya que el uso de tintas y disolventes de impresión, así como las resinas, las colas, los plastificantes y los productos de acabado pueden dar lugar a la emisión de COV. No obstante, cada vez se emplean más los colorantes orgánicos en lugar de pigmentos inorgánicos y las tintas con base acuosa en vez de tintas con disolventes (Álvarez, T., Peñahora, M., Sánchez, Isidro., 2015, pág. 52)¹².

¹¹ Berenguer Subils María José, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014, NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo, España, 2014, pág. 3, párrafo 4, fecha de consulta: 2019.

¹² Álvarez Bayona Teresa, Peñahora García María, Martín Sánchez Isidro y Centro nacional de nuevas tecnologías, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015, Calidad del ambiente interior en oficinas. identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo, Madrid España, 2015, pág. 52, párrafo 5, fecha de consulta: 2019.

Emisiones procedentes de materiales de construcción y de decoración utilizados en el edificio	
Madera prensada	Tableros aglomerados
	Tableros contrachapados
	Bastidores de construcción
Acabados de madera	Pinturas y tratamientos catalizados por ácidos
	Tintes para madera
	Pintura de poliuretano
	Pintura látex
Espumas de relleno	Barnices para muebles
	De poliuretano
Materiales de construcción de paredes y techos	Placas de yeso
	Plásticos para juntas
	Paneles de techo
	Impermeabilizaciones de látex
	Impermeabilizaciones de otros tipos
Recubrimientos de paredes	Adhesivos a base de agua
	Panelado de madera
	Paneles de plástico o melamina
	Recubrimientos vinílicos
	Panelado de cloruro de polivinilo

Tabla 4. "Emisiones procedentes de materiales de construcción y de decoración utilizados en el edificio". Recuperado de Calidad del ambiente interior en oficinas; identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo. (Álvarez, T., Peñahora, M., Sánchez, Isidro., 2015, pág. 52)¹³.

Por otra parte, *los equipos* usados para el trabajo de oficina, en las instalaciones o para el mantenimiento pueden aportar contaminantes al ambiente; éste es el caso de los productos utilizados como correctores, del ozono desprendido por las fotocopiadoras, los biocidas, los productos de limpieza, los desodorantes, etc. (Berenguer, María, 2019, pág. 2)¹⁴.

Las velocidades de emisión de COV aumentan con la temperatura, dado que incrementa su presión de vapor y estas velocidades suelen disminuir con el tiempo, al reducirse la concentración de compuestos volátiles en las fuentes que los emiten.

¹³ IBIDEM

¹⁴ Berenguer Subils María José, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014, NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo, España, 2014, pág. 3, párrafo 4, fecha de consulta: 2019.

Las *alfombras y telas* y, sobre todo, los pegamentos y colas utilizados para pegarlas al suelo emiten COV, cuyos niveles deben minimizarse. Para conseguirlo es necesario tener las alfombras y/o telas guardadas en un almacén durante las semanas previas a la instalación, además, de usar pegamentos y colas no tóxicas y con bajos niveles de emisión de volátiles. Al margen de lo anterior, lo que sí es evidente es que las alfombras y telas son almacenes de partículas y otros contaminantes frecuentes como ácaros.

La *falta de limpieza* también puede dar lugar a molestias derivadas de malos olores o a procesos alérgicos derivados de la presencia de polvo en el ambiente, por ello, el mantenimiento de la limpieza en los lugares de trabajo es esencial para evitar muchos problemas relacionados con la calidad del aire interior. Para que el proceso de limpieza sea efectivo y no interfiera en la CAI de un lugar de trabajo, deberían establecerse unos procedimientos de buenas prácticas para evitar la difusión en el aire de partículas en suspensión o de compuestos orgánicos volátiles (Álvarez, T., Peñahora, M., Sánchez, Isidro., 2015, pág. 46)¹⁵.

El polvo presente en un aire interior está formado por partículas, tanto orgánicas como inorgánicas, muchas de las cuales pueden clasificarse como fibras, el polvo total dependerá de la ventilación, la limpieza, la actividad en la zona y el grado de presencia de humo de tabaco.

La presencia de un *estacionamiento* en el propio edificio puede provocar la entrada, a través de los tiros de escalera, de contaminación procedente de los motores de combustión de los vehículos. Los principales compuestos tóxicos emitidos en los gases de escape de los motores de los vehículos son: monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre e hidrocarburos (Álvarez, T., Peñahora, M., Sánchez, Isidro., 2015, pág. 27)¹⁶.

¹⁵ Álvarez Bayona Teresa, Peñahora García María, Martín Sánchez Isidro y Centro nacional de nuevas tecnologías, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015, Calidad del ambiente interior en oficinas. identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo, Madrid España, 2015, pág. 46, párrafo 7, fecha de consulta: 2019.

¹⁶ IBIDEM

Los *ocupantes de un edificio* son en sí una fuente de contaminación, ya que el ser humano produce de modo natural dióxido de carbono, vapor de agua, partículas y aerosoles biológicos. Por otro lado, hay una serie importante de contaminantes que pueden ser generados por el propio edificio, por su contenido o pueden incluso depender de su ubicación. Otro grupo tiene su origen en combustiones que se producen en el interior. También el uso de productos de limpieza, mantenimiento y embellecimiento genera la presencia de contaminantes en el interior del edificio (Berenguer, María, 1982, pág. 2)¹⁷.

Evidentemente, el aire del interior de un edificio no debe contener contaminantes en concentraciones superiores a aquellas que pueden perjudicar la salud o causar disconfort a sus ocupantes, éstos contaminantes incluyen los que pueden estar presentes en el aire exterior que se introduce en el edificio y los originados por las actividades interiores, los materiales de construcción, el mobiliario, los recubrimientos de superficies y los tratamientos del aire. Las situaciones de riesgo más frecuentes para sus ocupantes son: la exposición a sustancias tóxicas, radioactivas e irritantes, la inducción de infecciones o alergias, las condiciones termohigrométricas no confortables y los olores molestos.

2.1.3 Control ambiental en interiores y mejora de la calidad del aire

La calidad del aire dentro de un edificio depende de una serie de factores entre los que cabe citar la calidad del aire exterior, el diseño del sistema de ventilación y de aire acondicionado, el funcionamiento y mantenimiento del sistema y las fuentes de contaminación interior.

El nivel de concentración de un contaminante en un espacio interior vendrá determinado por el equilibrio existente entre la generación del contaminante y su velocidad de eliminación.

La evaluación de la calidad del aire interior supone, entre otras tareas, la medición y evaluación de los contaminantes que pueda haber en el edificio. Se utilizan varios

¹⁷ Berenguer Subils María José, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014, NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire, España, 1982, pág. 2, párrafo 6, fecha de consulta: 2019.

indicadores para averiguar la calidad del aire en el interior, entre ellos destacan las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono, la cantidad total de compuestos orgánicos volátiles, la cantidad total de partículas en suspensión y la velocidad de ventilación. recomendados para la evaluación de algunas de las sustancias presentes en los espacios interiores, que vienen enumerados en diferentes normas o directrices, como las directrices para la calidad del aire en interiores adoptadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o las normas de Refrigeración y Acondicionamiento del Aire (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE¹⁸)(Guasch, Juan, pág. 45.8)¹⁹.

2.2 La ventilación natural y su óptimo aprovechamiento en la arquitectura

Históricamente el viento significa para el hombre la satisfacción de su necesidad vital para subsistir y una herramienta natural de extraordinaria utilidad; gracias a su acción benévola, el hombre ha podido desplazarse por los océanos, moler sus granos, bombear agua de las profundidades y hasta generar electricidad, sin dañar el ambiente.

En China y Persia se encontraron las primeras evidencias del uso de los molinos de viento, después aparecen en Inglaterra y su uso se extiende por casi todo el continente Europeo, lo que trajo como consecuencia notables avances y beneficios para el hombre.

Desafortunadamente la Revolución Industrial surge a la mitad del siglo XVIII y se detienen los avances logrados hasta ese momento, cuando todo hacia suponer que se obtendrían grandes beneficios del aprovechamiento de las fuentes de energía naturales renovables, con esto da inicio al deterioro de nuestro ambiente con la contaminación del aire, agua y tierra.

La ventilación natural es el proceso de ventilación de un espacio mediante el movimiento natural del aire sin intervención de medios mecánicos (Ching, Francis, 2008, pág. 40)²⁰; debe utilizarse para disipar las ganancias de calor excesivas que se dan en los espacios

¹⁸ La ASHRAE es una asociación de tecnología para edificios que se enfoca en los sistemas de edificios, la eficiencia energética, la calidad del aire interior y la sostenibilidad dentro de la industria.

¹⁹ Guasch Farrás Juan, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, pág. 45.4, párrafo 4, fecha de consulta: 2019.

²⁰ Ching M. Francis D. K., Gustavo Gili, Diccionario visual de arquitectura, Barcelona España, 2008, pág. 40, fecha de consulta: 2019.

interiores, debido, principalmente a las pérdidas de calor metabólico de los usuarios, a la radiación de aparatos electromecánicos y a las ganancias solares que acumula y transmite la estructura, (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 101)²¹ se produce también por diferencia de presión entre interior y exterior con filtraciones a través de las fisuras de puertas y ventanas, poros de las paredes y cubiertas²² y es necesaria por dos razones fundamentales: con fines de climatización y para renovar el aire de los espacios (Fuentes Victor y Rodríguez Manuel, 2004, pág. 49)²³.

El objetivo de la ventilación no es otro que reducir los niveles de contaminación existentes en un espacio mediante el aporte de aire limpio, libre del contaminante que se pretende controlar, y en cantidad suficiente para que la concentración se mantenga en niveles constantes y aceptables. Esta ventilación puede ser natural, forzada mecánicamente o combinada.

El acondicionamiento natural es parte de la arquitectura, es decir, que su aplicación integral es casi siempre de costo modesto o nulo, es conveniente explotar al máximo las características acondicionadoras naturales de los materiales de construcción y completar las deficiencias siempre que sea posible. En efecto, las condiciones de ventilación dentro de un edificio tienen una importancia fundamental para las condiciones de salud y confort humano, afectan directamente al usuario a través del efecto fisiológico de la calidad y movimiento de aire, e indirectamente a través de su influencia en las temperaturas y humedad del aire y superficies interiores circundantes.

²¹ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Victor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 101, fecha de consulta: 2019.

²² En cada espacio se tiene siempre en una ventilación permanente además de la ventilación regulable que es la que se produce por intermedio de las aberturas que podemos regular en superficie de ventilación, puede considerarse separadamente de dos formas: el reemplazo o renovación del aire interno y el movimiento del aire que sienten los ocupantes por lo que el mecanismo físico de la ventilación natural se relaciona principalmente con el estado del aire (temperatura, humedad y movimiento) además juega un papel fundamental a la hora de garantizar un aire saludable en los lugares de trabajo.

²³ Fuentes Freixanet Victor Armando y Rodríguez Manuel Viqueira, Universidad Autónoma Metropolitana, Ventilación natural Cálculos básicos para la arquitectura, Ciudad de México, 2004, pág. 49, párrafo 5, fecha de consulta: 2019.

En la Ciudad de México se vive en estado de confort 21.8% del tiempo, mientras que solo se requiere 77% de calentamiento, no obstante, por las características particulares de ésta gran metrópoli, la ventilación es un parámetro que debe cuidarse con atención, en primer lugar, porque generalmente se cuenta con un aire muy contaminado, por lo que debe tratarse en forma especial antes de introducirlo al espacio, para ello, se recomienda utilizar mucha vegetación y ventilar cuando la emisión de contaminantes, sea mínima generalmente durante la noche (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 101)²⁴.

Hasta que no sea posible eliminar las causas de contaminación del aire de la llamada “atmósfera industrial”, la única posibilidad de un acondicionamiento natural reside en un sano criterio de urbanización; que las viviendas, las escuelas y los hospitales formen núcleos satélites alejados del tráfico automotor, y que los centros de oficina y de comercio sean elementos arquitectónicos con desarrollo en altura, libres de aire contaminado y de los ruidos.



Richard Buckminster Fuller. Acondicionamiento integral. “Cúpula de plástico de 3 millas de diámetro para un barrio en Nueva York, 1990.” Imagen 6. Recuperado de Acondicionamiento natural y arquitectura. Ecología en Arquitectura. (Puppo, Ernesto y Puppo, Giorgio Alberto, 1972, pág. 73)²⁵

²⁴ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Víctor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 101, fecha de consulta: 2019.

²⁵ Puppo Ernesto y Puppo Giorgio, Marcombo Boixareu Editores, 1979, Acondicionamiento natural y arquitectura: ecología en arquitectura, Barcelona España, 1979, pág. 73, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

2.2.1 El viento como medio de transporte

El viento si se utiliza sensatamente, puede proporcionar una amplia gama de satisfactores, entre los que pueden señalarse:

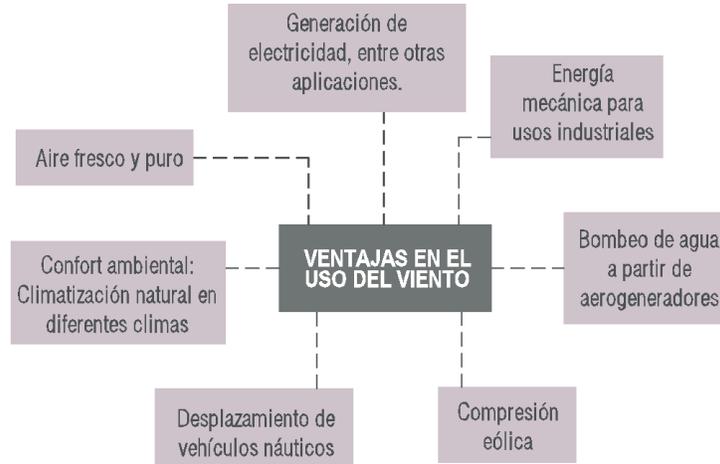


Diagrama 2. "Ventajas en el uso del viento".

Datos obtenidos de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 12)²⁶

El viento y su control adecuado, según las necesidades de cada región climática, y estacionalmente, puede ayudar a lograr lo siguiente.

²⁶ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Victor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 12, fecha de consulta: 2019.



Diagrama 3. "El viento según las necesidades de cada región climática".

Datos obtenidos de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 13)²⁷

Los vientos urbanos presentan complicaciones adicionales de dirección, velocidad y turbulencia en los movimientos de aire originados por factores tales como: morfología, tamaño y textura de las superficies, orientación y materiales expuestos a la radiación solar, actividad y densidad de edificios y personas e, incluso niveles de contaminación, pues puede producirse el efecto de domo térmico a causa del sobrecalentamiento del aire que a su vez producen las partículas en suspensión originando cambios importantes en los patrones del flujo de aire (Bowen, Arthur; 1984)²⁸.

- La dirección la velocidad y la frecuencia:

Son usualmente medidas expresadas cuantitativamente, mientras que la turbulencia se expresa en términos cualitativos o relativos.

- La turbulencia:

Es el viento en movimiento en la relación con la superficie de la tierra, sus principales características son: dirección, velocidad, frecuencia y turbulencia.

²⁷ IBIDEM

²⁸ Bowen Arthur, Memorias Plea 84, Design guidelines on vertical airflow in building and urban areas, México, 1984, fecha de consulta: 2019.

El tamaño, la fuerza y el movimiento de los remolinos son determinados por: la velocidad, la dirección del viento, la estabilidad o inestabilidad de la atmósfera baja, la forma y el tamaño del objeto.

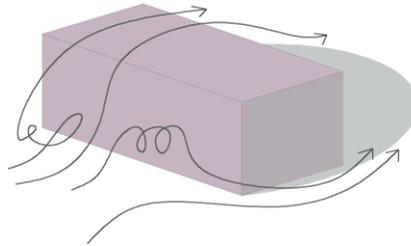


Imagen 7. "Remolinos".

Recuperada de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 21)

- Efectos de la topografía.

La vegetación presenta el máximo grado de rugosidad superficial y por tanto, originan el máximo grado de fricción al flujo de aire superficial. Estos efectos locales mecánicos son: Velocidad, dirección y turbulencia.

2.2.2 Confort respiratorio

En su informe de 1984 la Organización Mundial de la Salud reportó que mas del 70% de las enfermedades del aparato respiratorio se deben al diseño inadecuado de las edificaciones; ese informe señala a los arquitectos como responsables directos de la salud de los usuarios de sus construcciones; por ello, es importante concientizarse con el propósito de reorientar las acciones del diseñador de espacios, hacia la búsqueda de la satisfacción de verdaderas necesidades del hombre en su hábitat, por medio de una arquitectura que responda armónica e integralmente a las exigencias de su entorno (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 47)²⁹.

²⁹ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Victor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 47, fecha de consulta: 2019.

El acondicionamiento respiratorio tiene que ser considerado simultáneamente con el térmico, lumínico, acústico y visual; alguna vez el factor respiratorio puede prevalecer sobre los otros.

2.2.3 Diseño de la ventilación natural

El diseño de la ventilación debe enfocarse principalmente hacia el logro del confort higrotérmico de los usuarios.

2.2.3.1 Normas para una buena ventilación natural

Normas para una buena ventilación natural
Que las aberturas de entrada se ubiquen en zonas bajas y la salida en zonas altas
El rendimiento máximo se obtiene con aberturas de entrada iguales a las aberturas de salida.
Colocar las aberturas de entrada en las zonas de presión siempre que los vientos dominantes tengan una dirección mas o menos contante; si los vientos dominantes soplan en mas de una dirección, distribuir las aberturas proporcionalmente.
Que las aberturas de entrada no sean obstruidas con árboles o edificios.

Tabla 5. "Normas para una buena ventilación natural".
 Datos obtenidos de "Acondicionamiento natural y arquitectura. Ecología en Arquitectura."
 (Puppo, Ernesto y Puppo, Giorgio Alberto, 1972, pág. 139)³⁰

2.2.3.2 Factores y elementos del clima y del microclima

Si se conoce la acción que cada elemento arquitectónico tiene sobre el clima total, se puede llegar a la elección mas oportuna de aquellos, tal que se obtengan condiciones interiores, muy próximas a la óptimas.

³⁰ Puppo Ernesto y Puppo Giorgio, Marcombo Boixareu Editores, 1979, Acondicionamiento natural y arquitectura: ecología en arquitectura, Barcelona España, 1979, pág. 139, fecha de consulta: 2019.

- Altitud:

Al aumentar la altura, el aire está menos cargado de partículas sólidas y líquidas, y son justamente éstas partículas las que absorben las radiaciones solares y las difunden aumentando la temperatura del aire.

- Relieve:

Las grandes cadenas de montañas que son casi siempre divisorias de zonas climáticas e influyen sobre las grandes corrientes de la atmósfera.

- Vientos y presión atmosférica:

El estudio de los vientos es muy importante para el acondicionamiento natural, la renovación del aire en espacios cerrados está estrictamente ligada con el movimiento del aire (velocidad y dirección) ya sea por las filtraciones, influye además conjuntamente con la humedad relativa sobre la temperatura sensible y son elementos fundamentales del clima o mejor dicho, del bioclima, por la influencia sobre los ductos u otro tipo de aberturas y finalmente, los datos meteorológicos sobre el régimen de vientos son siempre bastante completos y pueden encontrar su útil aplicación en los problemas de microclima.

La presión atmosférica³¹ es un dato climatológico importante por la influencia que tiene sobre el régimen de vientos, pero para nosotros, es mas importante su relación con la temperatura: por ésta razón lo consideramos mas un elemento del clima que un factor.

³¹ Presión ejercida por la atmósfera de la tierra en un punto dado; generalmente se expresa en función de la altura de una columna de mercurio.

La clasificación de los vientos y los efectos según la intensidad según la escala de Beaufort			
No.	Nombre	Velocidad km/h	Características
0	Calma	0 a 1	Hasta los 12 km por h se considera como débiles
1	Ventolina	2 a 6	
2	Flojito	7 a 12	
3	Flojo	13 a 18	Hasta los 30 km por h se considera como medios
4	Bonancible	19 a 26	
5	Fresquito	27 a 35	
6	Fresco	36 a 44	Hasta los 50 km por h se considera como sostenidos
7	Frescachón	45 a 54	
8	Duro	55 a 65	Hasta los 70 km por h se considera como fuertes
9	Muy duro	66 a 77	
10	Temporal	78 a 90	Hasta los 70 km por h se considera como temporal
11	Borrasca	91 a 104	
12	Huracán	Mayor a 104	

Tabla 6. "La clasificación de los vientos y los efectos según la intensidad según la escala de Beaufort".
 Datos obtenidos de "Acondicionamiento natural y arquitectura. Ecología en Arquitectura."
 (Puppo, Ernesto y Puppo, Giorgio Alberto, 1972, pág. 30)³²

2.2.3.3 Variables arquitectónicas y constructivas para el diseño de ventilación natural

Variables arquitectónicas y constructivas para el diseño de ventilación natural
Forma y dimensión del espacio
Orientación con respecto al viento
Localización y tamaño de las aberturas de entrada y salida de aire
Elementos arquitectónicos exteriores e interiores.

Tabla 7. "Variables arquitectónicas y constructivas para el diseño de ventilación natural".
 Datos obtenidos de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."
 (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 92)³³.

³² IBIDEM

2.2.3.4 Pasos básicos de diseño en la ventilación:

- Es importante tener un claro esquema del régimen del viento, su temperatura, contenido de humedad, pureza y calidad, dirección, velocidad, frecuencia, turbulencia, zonas de calma, etc. Asimismo, es necesario comprender el comportamiento del viento sobre el sitio preciso de diseño, tanto en sus ciclos diarios como estacionales.
- Es necesario hacer un análisis bioclimático e identificar claramente los requerimientos específicos (diarios y estacionales) de ventilación, desde el punto de vista de confort humano (higrotérmico), para poder seleccionar las estrategias de diseño mas adecuadas.
- Es importante diseñar los sistemas de ventilación (dimensión, forma, tipo de aberturas, dispositivos del control del viento, etc.) que correspondan a las características funcionales, tanto del viento como de los requerimientos de confort higrotérmico.

³³ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Victor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 30, fecha de consulta: 2019.

2.2.3.5 Requerimientos bioclimáticos para brindar bienestar integral del usuario en su hábitat

Requerimientos bioclimáticos para brindar bienestar integral del usuario en su hábitat
Calefacción
Enfriamiento
Humidificación
Deshumidificación
Ventilación
Calidad del aire
Iluminación adecuada
Acústica adecuada.

Tabla 8. "Requerimientos bioclimáticos para brindar bienestar integral del usuario en su hábitat".
 Datos obtenidos de "Basic study of ventilation problems in hot countries building research station."
 (Baruch, Givoni,;1962, pág:0.)³⁴.

Los seis primeros requerimientos bioclimáticos se relacionan directa o indirectamente con el aire y el aire en movimiento: el viento.

A pesar de todas las variantes y condiciones específicas del diseño se intenta describir el sistema de ventilación ideal para un espacio en donde el flujo interior del aire es deseable.

- Búsqueda de la ventilación cruzada.
- La orientación mas adecuada es a 45° con respecto al viento, cuando la ventilación se da en muros opuestos, y a 90° cuando se da en muros adyacentes.
- La forma de la abertura debe ser horizontal.
- La abertura de entrada debe localizarse asimétricamente y en la parte inferior del muro con el fin de inducir el flujo de aire sobre la zona habitable.
- La abertura de salida debe localizarse en la parte superior del muro, con el fin de facilitar la extracción del aire caliente y viciado acumulado en la parte superior del

³⁴ Baruch Givoni, Technion Institute of Technology, Basic study of ventilation problems in hot countries building research station, Haifa Israel, 1962, fecha de consulta: 2019.

espacio y la formación del efecto chimenea en días sin viento. Cuando se requiere mucha ventilación, conviene poner dos aberturas de entrada y dos de salida, una en la parte superior que elimine el aire caliente y viciado y otra, en la parte inferior que garantice un flujo constante de aire sobre los habitantes, proporcionándoles el confort necesario.

- Entre mayor es el área de las aberturas, tanto de entrada como de salida, mayor es la ventilación.
- Con el fin de incrementar la velocidad promedio interior del aire conviene que la abertura de salida sea de mayor tamaño que la de entrada.
- Debe evitarse que dispositivos de ventana con fines no aerodinámicos interfieran con el sistema de ventilación y disminuya su eficiencia.
- Debe evitarse que los muros interiores y el mobiliario obstaculicen con el flujo interior del viento.
- Las aberturas deben contar con dispositivos o mecanismos operables que permitan el control del paso del viento (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 87)³⁵.

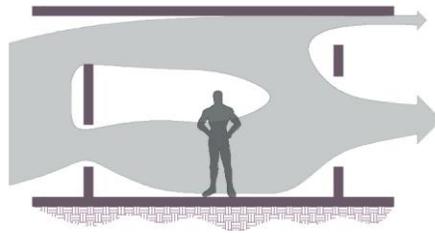


Imagen 8. "Aberturas de entrada y salida en la parte superior en interior del espacio"
Recuperada de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."
(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 87)³⁶.

³⁵ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Víctor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 87, fecha de consulta: 2019.

³⁶ IBIDEM

2.2.3.6 Movimientos

- Localización de la entrada:

Una abertura en el centro del muro provoca igual presión en ambos lados de la misma, por lo que el viento entra de fuerte al espacio. Si la abertura no está al centro del muro la presión en ambos lados será desigual lo que originará que el flujo de entrada sea desigual.

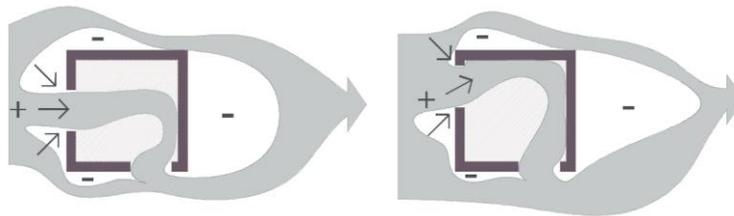


Imagen 9. "Abertura de entrada de viento al centro del espacio (+)"

Imagen 10. "Abertura de entrada de viento asimétrica (+)"

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 52)

- Localización de la salida:

No es tan importante ya que el patrón de flujo de aire, relativamente no se altera. Define el eje de ventilación el cual si influye en el comportamiento del aire en función del ángulo que forma con respecto a la dirección del viento.

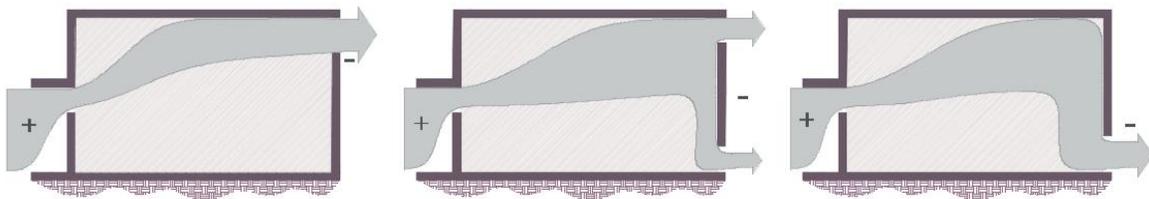


Imagen 11. "Ubicación superior de la abertura de salida (-)"

Imagen 12. "Ubicación superior e inferior de aberturas de salida (-)"

Imagen 13. "Ubicación inferior de la abertura de salida (-)"

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 53)

· Forma y tipo de aberturas:

La determinación de la forma y tipo de aberturas es un factor muy importante en el diseño de la ventilación; las aberturas horizontales son más eficientes que las cuadradas o verticales ya que proporcionan una mejor distribución del aire y mayores velocidades interiores con su rango de eficiencia superior en varias direcciones del viento.

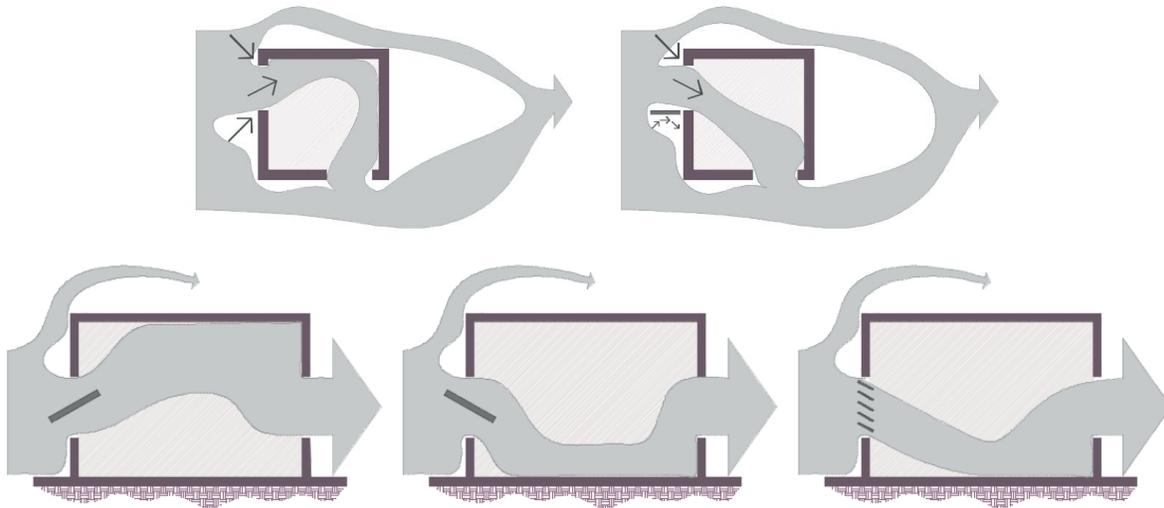


Imagen 14. "Dirección del flujo de aire en diagonal en el sentido de la mayor presión"

Imagen 15. "Modificación del flujo de aire al colocar un elemento que neutralice la presión. La dirección del flujo de aire se invierte, con respecto a la figura anterior"

Imagen 16. "Variación del flujo con un dispositivo móvil ascendente en la abertura de entrada"

Imagen 17. "Variación del flujo con un dispositivo móvil descendente en la abertura de entrada"

Imagen 18. "Variación del flujo con celosía"

Recuperadas de "Design for natural ventilation in hot humid weather."

(Reed Robert H., 0000, pág.0)³⁷.

³⁷ Reed Robert H., Texas Engineering Experimental Station, College Station, Design for natural ventilation in hot humid weather, Texas, fecha de consulta: 2019.

- Accesorios de ventana y elementos arquitectónicos:

Los elementos arquitectónicos cercanos a las aberturas de entrada pueden modificar los patrones del flujo de aire.

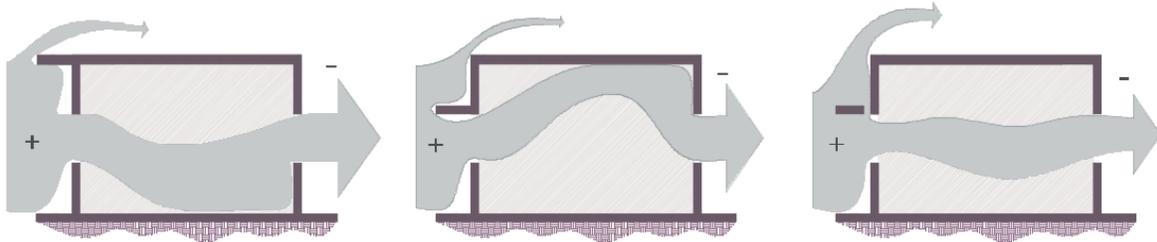


Imagen 19. "Variación del flujo con volado"

Imagen 20. "Variación del flujo con volado bajo cubierta"

Imagen 21. "Variación del flujo con volado separado"

Recuperadas de "Design for natural ventilation in hot humid weather."

(Reed Robert H., 0000, pág.0)³⁸.

Accesorios de ventana como celosías se diseñan generalmente como accesorios de control solar, de lluvia, de privacidad visual o seguridad y casi nunca para el control del flujo de aire, por lo que con frecuencia producen efectos nocivos en la eficiencia de la ventilación. Al diseñar y utilizar éstos dispositivos deben considerarse también sus efectos aerodinámicos para lograr una ventilación eficiente.

- Tamaño de las aberturas:

La determinación del área de la abertura de entrada está en función de los requerimientos específicos de ventilación: la cantidad de aire y velocidad interior del aire necesarias.

Lo más conveniente en cualquier diseño de ventilación es ubicar una abertura de entrada en la zona alta de presión y una de salida en la zona baja de presión (ventilación cruzada); de esta forma se garantizará un flujo constante de aire dentro del espacio, con velocidades

³⁸ IBIDEM

interiores, por lo menos 2.5 veces mayores a las que darían en una ventilación unilateral (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 57)³⁹.

El flujo constante proporciona aire puro, renovando el interior del espacio (Olgyay Victor, 1963)⁴⁰, es necesario considerar que la velocidad interior máxima del viento es de 2m/s, arriba de la cual el flujo de aire sobre el cuerpo es molesto.

Si se coloca una entrada grande y una salida pequeña, la velocidad del viento se incrementa justamente donde se localiza la menor abertura, esto ocurre debido al efecto Venturi⁴¹, y las diferencias de presión y succión alrededor del edificio, de la misma manera, si se coloca una abertura de entrada pequeña y una de salida grande, la velocidad del viento será incrementada dentro del espacio, este aumento de velocidad puede ser muy útil en términos de confort.

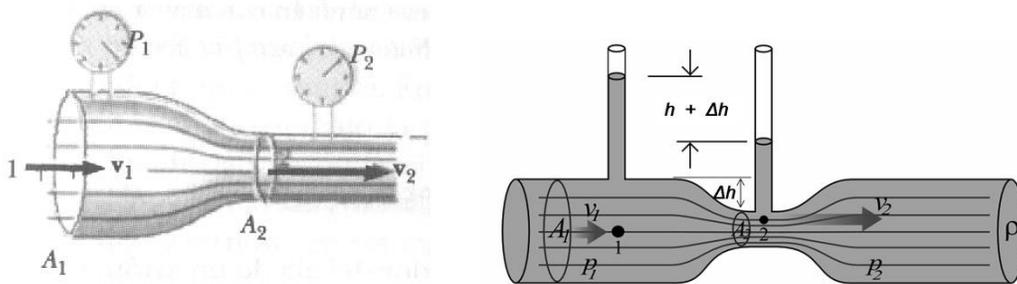


Imagen 22. "A mayor presión menor velocidad y a menor presión mayor la velocidad"

Imagen 23. "Aplicaciones tubo Venturi"

Recuperadas de <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/efecto-venturi/>⁴²

³⁹ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Victor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 57, fecha de consulta: 2019.

⁴⁰ Olgyay Victor, Design whit climate, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1963, fecha de consulta: 2019.

⁴¹ Implícito en muchas maneras de comportamiento del viento, anteriormente estudiadas consiste principalmente en el aumento de velocidad que sufre el viento al ser comprimido, en su paso, si se encausa al viento y se hace pasar por un área mas reducida que por donde fluía, se incrementará su velocidad precisamente donde el área sea menor, por el contrario disminuirá su velocidad si se hace pasar por un área mas amplia.

⁴² Física termodinámica, <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/efecto-venturi/>, fecha de consulta: 2019.

Puede aprovecharse el efecto Venturi para aumentar o disminuir la velocidad del viento, tanto en espacios urbanos como en espacios arquitectónicos exteriores o interiores y elementos de sistemas estructurales, según convenga a los requerimientos básicos de confort.

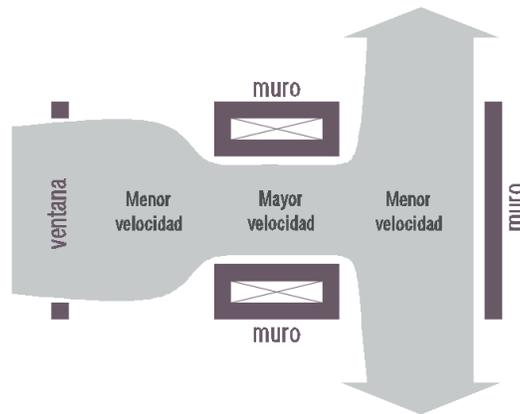


Imagen 24. "Estrategia de diseño bioclimático"

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 71)⁴³.

⁴³ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Victor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 71, fecha de consulta: 2019.

Incremento de velocidad debido al efecto Venturi	
Velocidad en m/s	Área en m ²
0.83736	2.00
0.88143	1.90
0.9304	1.80
0.98513	1.70
Velocidad óptima:	
1.0467	1.60
1.11648	1.50
1.19623	1.40
1.28825	1.30
1.3956	1.20
1.52248	1.10
1.67476	1.00
Velocidad máxima:	
1.86081	0.90
2.09341	0.80
2.39247	0.70
2.79121	0.60
3.34946	0.50
4.18682	0.40
5.58243	0.30
8.37366	0.20
16.74733	0.10

Efecto Venturi. Relación entre la velocidad del viento y el área de paso, para el flujo de una cantidad constante de aire de 1m ³ /s	
Velocidad del viento en m/s	Sección Área de abertura en m ²
0.50	5.00
1.00	4.50
1.50	4.00
2.00	3.50
2.50	3.00
3.00	2.50
3.50	2.00
4.00	1.50
4.50	1.00
5.00	0.50

Tabla 9. "Incremento de velocidad debido al efecto Venturi"

Tabla 10. "Efecto Venturi. Relación entre la velocidad del viento y el área de paso, para el flujo de una cantidad constante de aire de 1m³/s"

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 72)⁴⁴.

⁴⁴ IBIDEM

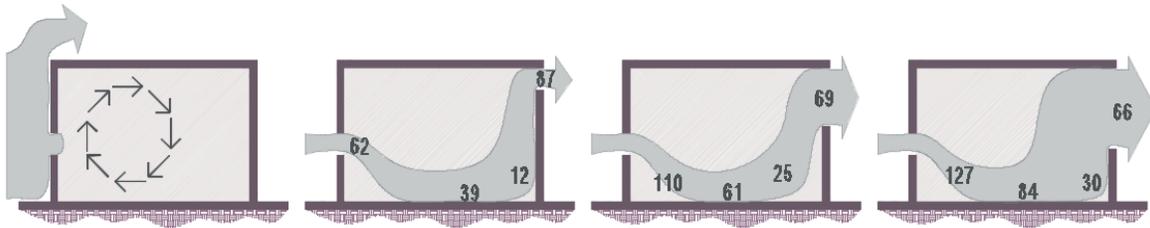


Imagen 25. "Entrada del flujo en abertura, sin abertura de salida"

Imagen 26. "Aberturas de entrada inferior con abertura de salida superior de iguales dimensiones"

Imagen 27. "Abertura de entrada inferior (pequeña) con abertura de salida superior de mayor dimensión"

Imagen 28. "Abertura de entrada inferior con abertura de salida de mayor dimensión"

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pags. 58 y 59).

Contrariamente a los estudios de Robert Reed y a las implicaciones de la fórmula de Víctor Olgyay, Harris J. Sobin, en sus experimentos de ventilación determina que la velocidad del viento se incrementa inmediatamente después de la abertura de entrada, la velocidad promedio interior disminuye ligeramente, mientras mas desviaciones o cambios de dirección tenga el flujo de aire dentro del espacio, más disminuirá la velocidad del aire (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 59).

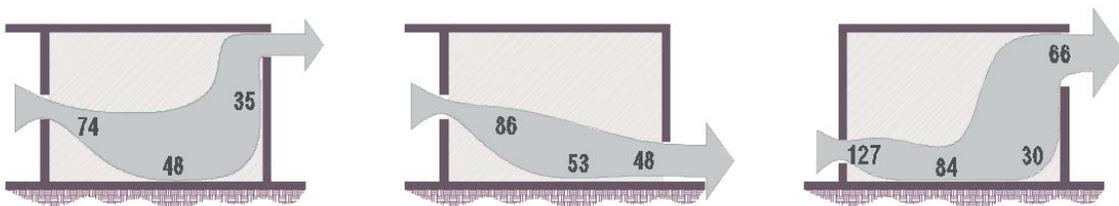


Imagen 29. "Disminución de la velocidad del flujo en el interior por cambios de dirección"

Imagen 30. "Disminución de la velocidad del flujo en el interior por cambios de dirección"

Imagen 31. "Diseño recomendable de aberturas: abertura de entrada menor que la abertura de salida en la parte superior"

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 60).

Tamaño de la entrada (con respecto al área del elemento vertical)							
Dirección del viento	Tamaño de la salida	1/3		2/3		3/3.	
		Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo
Perpendicular 90°	1/3	35	65	34	74	32	49
	2/3	39	131	37	79	36	72
	3/3.	44	137	35	72	47	86
Oblicuo 45°	1/3	42	83	43	96	42	62
	2/3	40	92	57	133	62	131
	3/3.	44	152	59	137	65	115

Tabla 11. "Tamaño de la entrada con respecto al área del elemento vertical"
 Recuperada de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."
 (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 61).

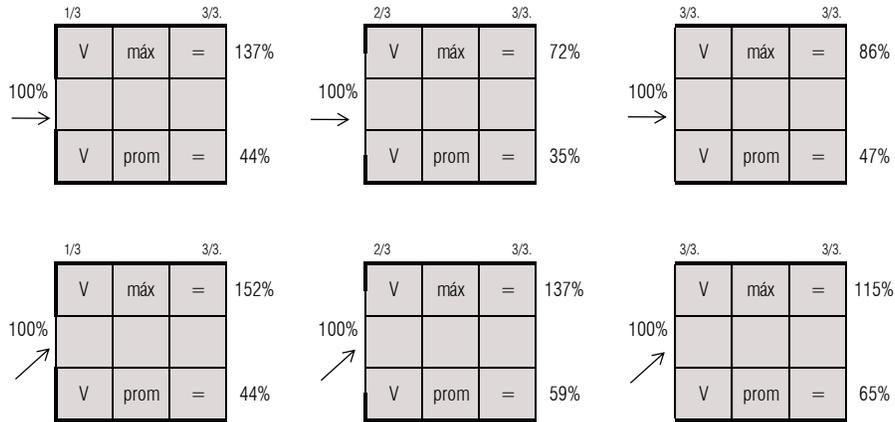


Diagrama 4. "Velocidades promedio y máximas dadas por la relación de tamaño entre las aberturas de entrada y de salida"
 Recuperada de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."
 (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 61).

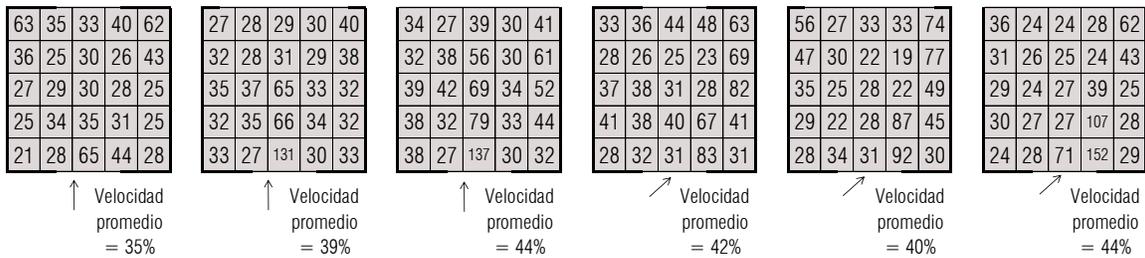


Diagrama 5. "Efecto del tamaño de salida, con viento perpendicular y a 45°, con una entrada constante de 1/3 (con respecto al elemento divisorio)"
 Recuperada de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."
 (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 61).

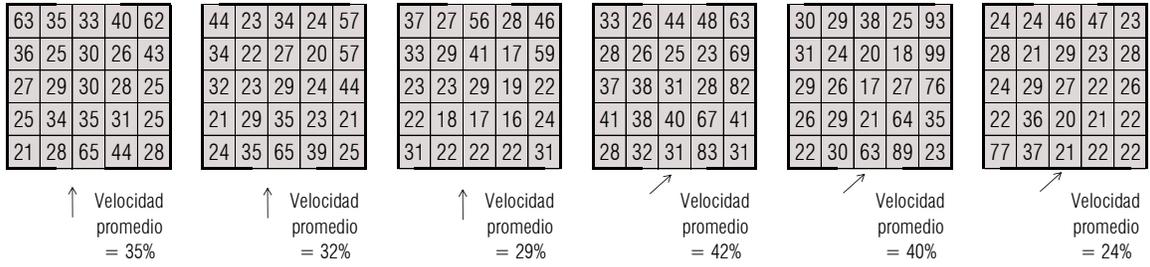


Diagrama 6. "La eficiencia de la ventilación disminuye al localizar dos aberturas en uno de los lados"

Recuperada de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 61).

· Divisiones dentro de un espacio

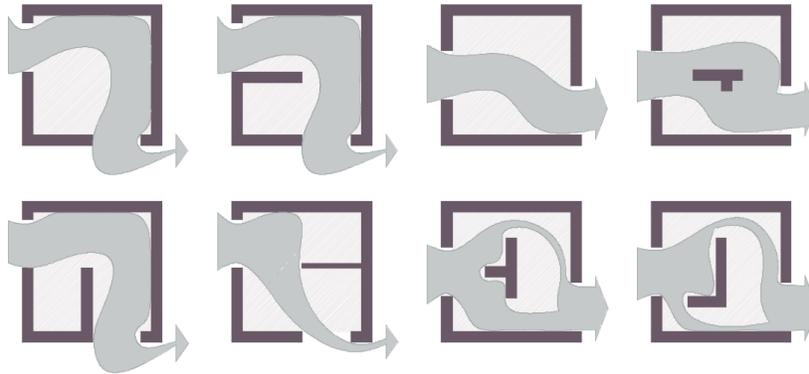


Imagen 32. "Divisiones dentro de un espacio"

Recuperada de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 62).

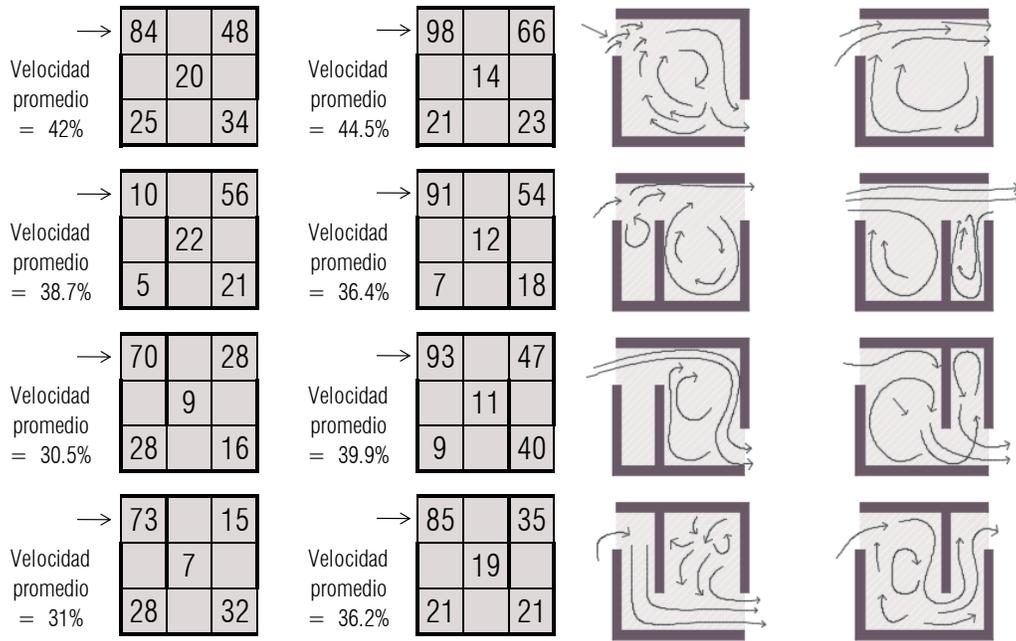


Diagrama 7. "Efectos de las subdivisiones en el interior sobre distribución y velocidad del aire"
 Recuperada de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."
 (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 63).

· Orientación en ventilación cruzada:

Se genera la máxima presión del viento a barlovento⁴⁵ de un edificio cuando la fachada es normal (perpendicular) a la dirección del viento.

Un viento que incide a 45°, aumenta la velocidad media del aire interior. Parece evidente que se logre la mayor velocidad del aire en el interior si el viento entra en forma perpendicular a la fachada, sin embargo, Givoni encontró que si el viento incide a 45°, aumenta la velocidad media del aire interior (Koeningsberger O.H.y Szokolay Steve, Longman, 1974)⁴⁶.

⁴⁵ Pertenece a, que está en, o está de cara a, la parte donde viene el viento.

⁴⁶ Koeningsberger O.H.y Szokolay Steve, Longman, Manual of tropical housing and building, Londres, 1974, fecha de consulta: 2019.

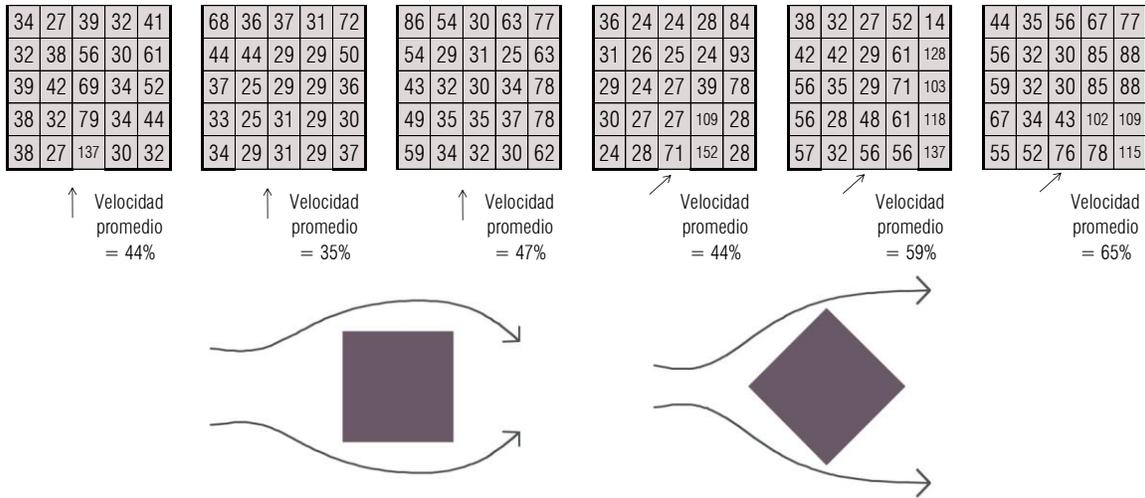


Diagrama 8. “Comparación de efecto de la dirección del viento en diversas configuraciones de espacios. Cuando el viento incide a 45° en la abertura de entrada, la sombra de viento es mas ancha, la presión negativa (efecto de succión⁴⁷) aumenta y el flujo de aire interior aumenta”

Recuperada de “Manual of tropical housing and building.”
(Koeningsberger O.H.y Szokolay Steve, Longman, 1974)⁴⁸.

Es necesario considerar que el aire que entra angulado, no se distribuye uniformemente y causa turbulencias en el espacio interior, mientras que el flujo de aire que entra perpendicular, atraviesa al espacio de frente, mas uniforme y solo con pequeños disturbios en ambos lados de la abertura de entrada.



Imagen 33. “Velocidad máxima 152%”

Imagen 34. “Velocidad máxima 67%”

Recuperadas de “Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico.”

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 65)⁴⁹.

⁴⁷ Presión negativa ejercida horizontalmente por el viento en los lados y superficies verticales a sotavento de un edificio, y normalmente a las cubiertas de pendiente inferior a 30° o cuando el edificio se encuentra a 45° se crea una mayor velocidad a lo largo de las fachadas de barlovento; por consiguiente la sombra del viento es mas ancha, la presión negativa aumenta y el flujo de aire interior se incrementa.

⁴⁸ Koeningsberger O.H.y Szokolay Steve, Longman, Manual of tropical housing and building, Londres, 1974, fecha de consulta: 2019.

La utilización del viento oblicuo puede ser muy ventajosa, sobre todo en aquellos lugares en donde el viento predominante viene de este u oeste, ya que desde el punto de vista bioclimático y de control solar, sería difícil e inadecuado dar esas orientaciones a cualquier espacio; no obstante, con éste nuevo concepto puede lograrse una eficiente ventilación cruzada oblicua y al mismo tiempo un control solar mas adecuado.

Por el contrario, cuando la abertura de salida se localiza en un muro lateral, la ventilación es mas eficiente si el viento incide perpendicularmente a la abertura de entrada (90°). Esto quiere decir que la eficiencia de la ventilación aumenta cuando la dirección de flujo de viento es oblicua (45°) con respecto al eje de ventilación. Éste se define por la línea que une el centro de ambas aberturas (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 54)⁵⁰.

· Orientacion en ventilación unilateral:

En sus estudios, Givoni determina que la ventilación es 250% mas eficiente en ventilación cruzada que cuando se usa ventilación unilateral. En éste caso pueden hacerse algunas mejoras si las aberturas se realizan en el lado de barlovento, o bien, a través de la orientación, localización o tipo de las ventanas.

⁴⁹ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Victor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 65, fecha de consulta: 2019.

⁵⁰ IBIDEM

Efectos de la dirección del viento en sistemas de ventilación cruzada							
Ancho de la entrada	Ancho de la salida	Ventanas en elementos verticales opuestos			Ventanas en elementos verticales adyacentes		
		Viento perpendicular	Viento oblicuo	Viento lateral	Viento perpendicular	Viento oblicuo	Viento de succión
1/3	1/3	35	42	-	45	37	22
1/3	2/3	39	40	-	52	44	23
1/3	3/3.	44	44	-	51	45	26
2/3	1/3	34	43	-	51	46	-
2/3	2/3	37	57	21	-	-	-
2/3	3/3.	35	59	-	-	-	-
3/3.	1/3	32	42	-	50	37	-
3/3.	2/3	36	62	-	-	-	-
3/3.	3/3.	47	65	24	-	-	-

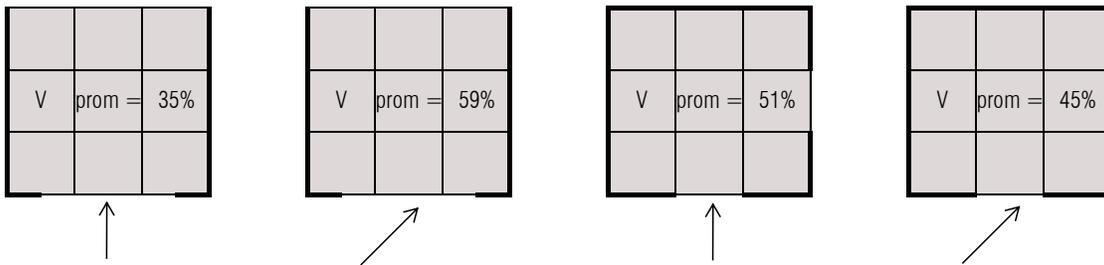


Tabla 12. "Efectos de la dirección del viento en sistemas de ventilación cruzada, porcentajes de velocidad con respecto a la velocidad libre del viento exterior."

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 67).

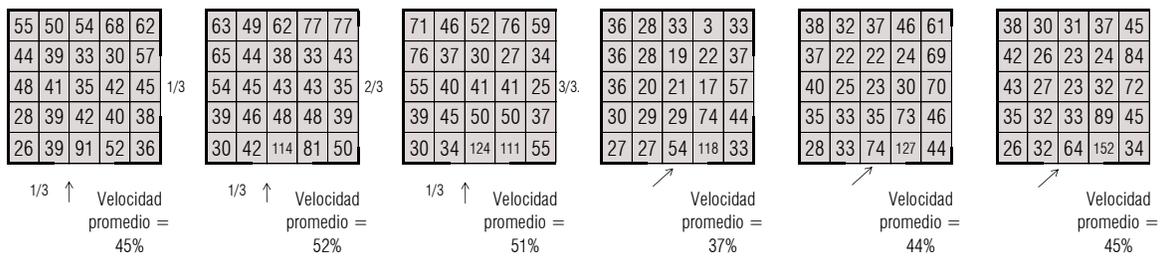


Diagrama 9. "Efecto del ancho de la abertura de salida en ventanas en muros adyacentes (entrada 1/3 con viento perpendicular y a 45°). (Porcentajes de velocidad en relación con la velocidad exterior libre del viento)"

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 67).

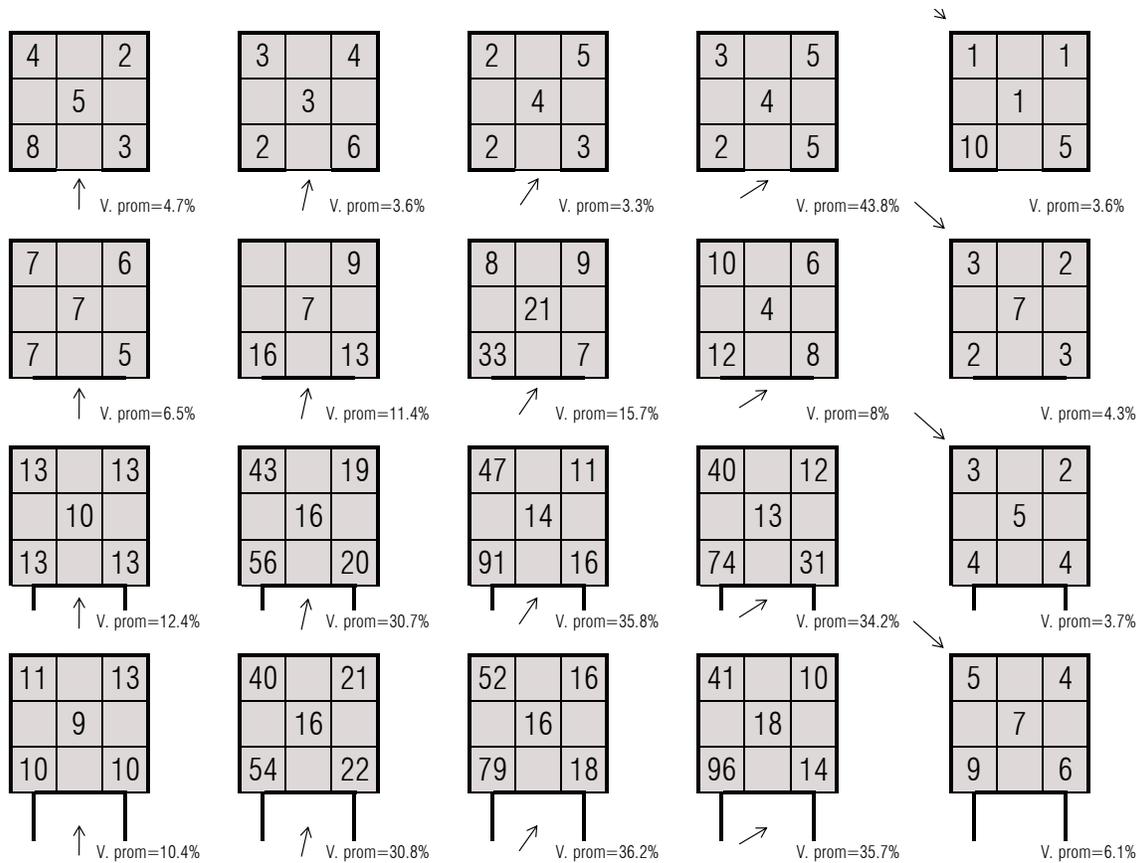


Diagrama 10. "Velocidad del aire en modelos con proyecciones (salientes) verticales de diferentes dimensiones comparados con modelos son proyecciones. Con ancho de ventanas de 1/3 del ancho del muro. (Porcentajes con respecto a la velocidad del aire exterior).

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 68).

Efecto de la dirección del viento en ventilación unilateral			
Ancho de la ventana	Viento perpendicular 90°	Viento oblicuo 45°	Viento de succión 315°
1/3	13	12	14
2/3	13	15	17
3/3.	16	23	17
2 x 1/6	17	21	12

Tabla 13. "Efecto de la dirección del viento en ventilación unilateral. (Porcentajes de velocidad con respecto a la velocidad libre del viento"

Recuperadas de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 68).

En la ventilación unilateral, la ventilación interior promedio mas alta que puede lograrse sin utilizar algún dispositivo para crear zonas de baja presión es de 15% con respecto a la velocidad libre del viento (García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 69).

2.2.3.7 Estanqueidad

El factor de estanqueidad al aire se corresponde con el factor de estanqueidad del agua: depende del tipo de construcción. No hay un material, mejor que el otro bajo éste punto de vista, solo puede decirse que algunos materiales necesitan mayor cuidado y exactitud en la construcción.

Los principios fundamentales para una buena estanqueidad en determinados casos son:

- Tener juntas del menor ancho posible, realizando contacto a presión con burletes de goma o fieltros o también flejes de acero.
- Separar en lo posible la junta de la acción directa del viento.
- Crear dos líneas de contacto con una pequeña cámara de aire intermedia.

2.3 Barreras

Existe la idea de que la naturaleza es estable; sin embargo, el ecosistema de nuestro planeta es muy frágil. La contaminación del aire, el agua y el suelo, puede ser acústica, lumínica y magnética etc., aunada con la desenfrenada explotación de los recursos naturales en general, llevan al hombre hacia un desequilibrio ecológico irreversible.

2.3.1 Barreras naturales y arquitectónicas

El grado de protección que brinda una barrera depende, por un lado, de las características del viento y en primer lugar, de su dirección, ya que las barreras son mas efectivas perpendiculares a los vientos dominantes; e segundo lugar de su velocidad. El grado de protección depende principalmente de las características de la barrera: Altura, anchura, longitud, densidad o penetrabilidad y forma.

- **Altura de la barrera:** A mayor altura mayor es la protección.
- **Anchura de la barrera:** Si se incrementa el ancho y la densidad de una zona boscosa disminuye efectivamente la velocidad del viento y la protección dentro de la arboleda es mayor, particularmente grande áreas arboladas tienen un marcado efecto en el flujo del viento.
- **Longitud de la barrera.** Al incrementar la longitud de una hilera de árboles se incrementará el ancho de la sombra de viento solo hasta un límite, por lo general, con una longitud de 11 a 12 veces la altura de la barrera. Después de éste límite la sombra aumenta su longitud y mantiene su ancho máximo constante.
- Cuando una barrera se forma con árboles, la velocidad del viento se incrementa ligeramente bajo los troncos debido al efecto Venturi.
- **Densidad de la barrera:** Las barreras menos densas con mas penetrabilidad dejan pasar algo de aire a través de ellas, con ésta filtración, la velocidad del aire en el lado de sotavento no es tan reducidas como en el caso de las obstrucciones densas; pero la zona de viento o zona de protección es mucho mayor reduciéndose sustancialmente la turbulencia (Buck Charles, 1970, pág.)⁵¹ (Watson Donald y Labs Kenneth, 1980, pág.)⁵².

Según su densidad las barreras se clasifican en:	
Barreras abiertas (a lo largo de toda su altura)	Parcialmente penetrables
Barreras densas	Impenetrables
Barreras de mediana densidad	Ligeramente penetrables
Barreras de mediana densidad abajo y alta densidad arriba	Ligeramente penetrables
Barreras de mediana densidad arriba y abiertas de abajo	Ligeramente penetrables

Tabla 14. "Según su densidad las barreras se clasifican en:".

Datos obtenidos de "Viento y arquitectura, el viento como factor de diseño arquitectónico."

(García, J., Fuentes, V., 2005, pág. 43)⁵³.

⁵¹ Buck Charles, Department of Agriculture, Forest Service, Fire weather, Agriculture Handbook 360, EUA, 1970, fecha de consulta: 2019.

⁵² Watson Donald y Labs Kenneth, Guilford, Climatic design for home building, CT, 1980, fecha de consulta: 2019.

⁵³ García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Victor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005, pág. 60, fecha de consulta: 2019.

2.3.2 Vegetación

La vegetación es el sistema respiratorio del planeta; remueve el dióxido de carbono y otros contaminantes del aire, regenera el oxígeno de la atmósfera, restablece los niveles de humedad y atrapa el polvo del ambiente.

En algunas ocasiones según las condiciones bioclimáticas del lugar, debe obstruirse el paso del viento en lugar de canalizarlo, esto puede suceder cuando el viento está contaminado; por esa razón es conveniente crear barreras contra el viento y darle un tratamiento especial antes de introducirlo al espacio interior: por ejemplo, purificarlo entre otros.

- Vegetación y viento:

Así como un árbol tiene diferentes efectos sobre el flujo del viento también un seto o arbusto tiene influencia en el patrón del flujo de aire, según su altura y su cercanía con las aberturas.

- Protección contra el viento:

Efecto del viento sobre la fachada al utilizar una barrera: la barrera puede ser natural o artificial: arbustos, setos, árboles, cercas, bardas, celosías etc., pero siempre se recomienda que tengan una porosidad o densidad del 15 al 24%.

- Efectos de la vegetación sobre vientos locales:

Existen 4 formas básicas para controlar el viento, dentro de las cuales la vegetación tiene gran eficiencia: Obstrucción, filtración, deflexión y canalización (Usos en ingeniería: acondicionamiento y purificación del aire.)

Experimentos que se realizaron con la ayuda de un túnel de viento revelaron que las barreras formadas con árboles proporcionan mayor protección que barreras sólidas artificiales de distinta forma, debido a su menor densidad, no reducen drásticamente la velocidad del viento, pero si logran una sombra de viento mucho mayor.

2.4 La fachada como elemento intermedio

Permite que los ocupantes tengan un cierto grado de control individual sobre su entorno y acceso visual directo al exterior.

Para lograr una respuesta armónica favorable de los edificios con respecto a su entorno natural, la membrana envolvente o piel constructiva del edificio deberá actuar como un agente flexible, dinámico y poderosamente versátil que interactúe favorablemente del exterior al interior y viceversa; es decir, como una membrana auto reguladora de las condiciones internas del confort natural biotérmico de los usuarios en sus edificaciones.

2.4.1 Relación interior y exterior

Conociendo con exactitud las necesidades para un clima interior deseable, el arquitecto puede elegir el tipo, las dimensiones y la posición de los elementos que componen la fachada de forma tal que se establezca una estricta relación entre acondicionamiento natural y la arquitectura o bien; la visión al exterior y la influencia sobre la plástica de la fachada.

Cantidad de aire que pasa a través de una apertura depende directamente de:

- El área de la abertura
- La velocidad del viento
- La dirección del viento con respecto al plano de la apertura

2.4.2 Función

Cuando las ventanas no son suficientes o no están distribuidas uniformemente en relación con la superficie del espacio, es posible que nos encontremos con alguna de las siguientes situaciones:

- La ventilación del espacio es insuficiente si no hay ventilación mecánica adecuada.
- La iluminación en los puestos más alejados de las ventanas es deficiente.
- Se producen diferencias térmicas importantes entre los distintos puestos de trabajo debido a la temperatura radiante (procedente de la radiación solar).

Si las ventanas no pueden abrirse, bien porque sean ventanales sin opción de apertura (como ocurre en los edificios conocidos como “herméticos” o “inteligentes”), bien porque están demasiado altas o porque existan obstáculos (armarios) que impidan llegar hasta ellas, pueden aparecer problemas como:

- Concentración de contaminantes y sensación de ambiente viciado, debido a una ventilación insuficiente y a una posible acumulación del CO₂ resultante de la respiración.
- Sensación de malestar por la imposibilidad de regular la temperatura o renovar el aire del recinto.

3

El biofiltro como componente

- Proyectos actuales y desarrollos tecnológicos
 - Estrategia de diseño
 - Metodología de diseño

CAPÍTULO III

El biofiltro como componente

3.1 Proyectos actuales y desarrollos tecnológicos

Sistemas análogos

Elementos naturales

· Barreras naturales

Con sus monitores portátiles, Abdollahi¹ ha registrado niveles de dióxido de nitrógeno de 120 partes por billón (ppb) en avenidas y 100 ppb bajo los árboles, lo que sugiere un impacto positivo de la vegetación.

Los árboles extraen contaminantes en dos formas principales: incorporan gases y contaminantes a través de las estomas en sus hojas o capturan partículas en la superficie de sus hojas; estima que los árboles retiran típicamente menos del 1% de la contaminación. Pero el porcentaje puede llegar en algunos casos al 15% (Martins, Alejandra, 2017)². Puede parecer poco, pero se está hablando de toneladas de partículas.

"A nivel general se encuentra que los árboles en las ciudades de Estados Unidos impiden 850 muertes al año y más de 670,000 casos de episodios respiratorios agudos".

Por su parte, Abdollahi utiliza una gran caja de metal donde coloca árboles que selecciona al azar. Luego bombea en la caja todo tipo de contaminantes y con un tubo extrae el aire hacia un monitor (Martins, Alejandra, 2017)³.

¹ Kamran Abdollahi es profesor de ciencias forestales urbanas en el Centro de Agricultura y Extensión del Sur en Baton Rouge, Luisiana, en Estados Unidos.

² El sorprendente valor de los árboles para combatir la contaminación en el aire de las ciudades, <https://www.bbc.com/mundo/noticias-39195220>, fecha de consulta: 2019.

³ IBIDEM

El científico halló que los robles nativos de Luisiana son particularmente resistentes y sus hallazgos han influenciado la selección de especies realizada por Baton Rouge Green⁴, una ONG que ya ha plantado unos 5,000 árboles en la ciudad.

En torno a éstos estudios es posible percibir la importancia de las barreras de vegetación en cualquier parte donde se les coloque.



Imagen 35. "Barrera de árboles"

Recuperada de <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/que-son-las-cortinas-forestales.html>⁵

Greenbelt en Hangzhou China

En este estudio, se eligió el cinturón verde⁶ en la zona intermedia cerca de la estación de peaje Lin'an de la autopista Hang Rui como área de muestreo. El estudio consiste en la ubicación de la distancia lineal más cercana desde el límite del área de muestreo hasta la estación de peaje es de 50 m el área de muestreo es adyacente a Qianjin Road en el oeste, los otros tres lados están rodeados de tierras de cultivo o bosques sin cuerpos de agua, el área total de muestreo es de aproximadamente 15,230 m² y se compone de praderas boscosas dispersas (0 m-15 m) y bosques mixtos de varios pisos (15 m-60 m), los últimos de los cuales se utilizan típicamente para zonas verdes en carretera en el este de China. Estos cinturones verdes consisten en una estructura de comunidad de plantas de tres pisos

⁴ Baton Rouge Green lidera, educa e inspira la plantación y el mantenimiento de los árboles y espacios verdes de las comunidades de Luisiana, Ca.

⁵ ¿Qué son las cortinas forestales?, <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/que-son-las-cortinas-forestales.html>, fecha de consulta: 2019.

⁶ La coordenada central es 30 ° 13'27.87 " N, 119 ° 44'47.78 " E en Hangzhou, China.

de árboles, arbustos y pastos; hay varios tipos de plantas en el área de muestreo (24 en total), incluidas 19 familias y 21 géneros.

Con éste análisis experimental se concluye que a manera de que existen diversos tipos de barreras vegetales a lo largo y ancho de un terreno es posible delimitar el paso de aire con partículas suspendidas a través de ellas (Feng SHAO, Haitang WU, Guo LI, Fengbin SUN, Lu YU, Yinke ZHANG, Li DONG, and Zhiyi BAO, DONG y Zhiyi BAO; 2019, pag.3)⁷.

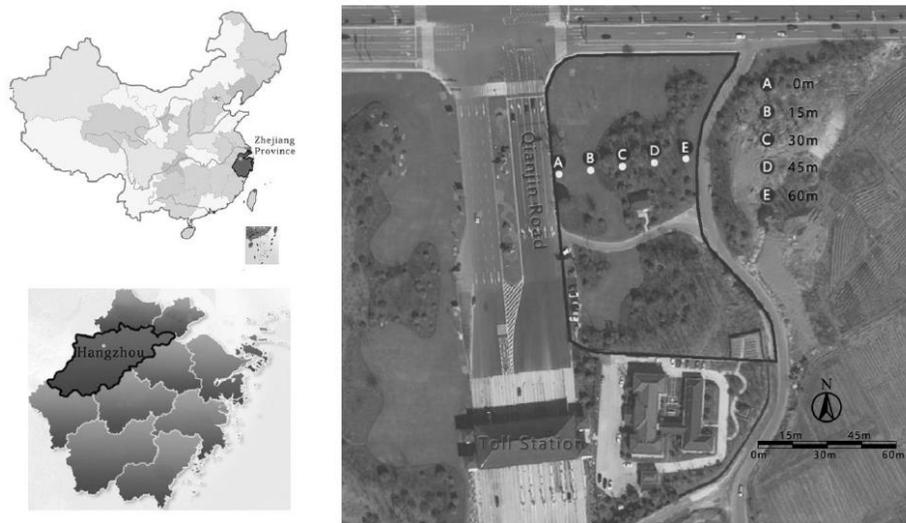


Diagrama 11. "Zona de muestreo".

Datos obtenidos de "PM2.5 Concentrations in the Greenbelt near the Lin'an Toll Station of the Hang Rui Expressway and their related influencing factors" (Feng SHAO, Haitang WU, Guo LI, Fengbin SUN, Lu YU, Yinke ZHANG, Li DONG, and Zhiyi BAO, DONG y Zhiyi BAO; 2019, pag.3)⁸.

⁷ Feng SHAO, Haitang WU, Guo LI, Fengbin SUN, Lu YU, Yinke ZHANG, Li DONG y Zhiyi BAO; School of Landscape Architecture Beijing Forestry University, PM2.5 Concentrations in the greenbelt near the Lin'an Toll Station of the Hang Rui Expressway and their related influencing factors, Beijing China, 2019, pág. 3, párrafo 2, fecha de consulta: 2019.

⁸ IBIDEM



Imagen 36. “Barreras en la zona de muestreo”

Recuperadas de <https://www.agritotal.com/nota/cortinas/>⁹ y <http://sistemaagricola.com.mx/blog/consejos-para-conservar-el-suelo/>¹⁰

Geometría

· Breathe Brick

Breathe Brick¹¹ está diseñado para formar parte del sistema de ventilación normal de un edificio, con una fachada de doble capa. La función principal del Breathe Brick es la filtración ciclón, una idea tomada de aspiradoras modernas, que separa las partículas contaminantes pesadas del aire y las deja caer en una tolva desmontable en la base de la pared (Yunis, Natalia; 2015)¹².

⁹ Cortinas Rompevientos, Bondades!, <https://www.agritotal.com/nota/cortinas/>, fecha de consulta: 2019.

¹⁰ Consejos para Conservar el Suelo e Incrementar la Fertilidad y la Producción, <http://sistemaagricola.com.mx/blog/consejos-para-conservar-el-suelo/>, fecha de consulta: 2019.

¹¹ Por Carmen Trudell, profesora asistente en la Escuela de Arquitectura de Cal Poly San Luis Obispo y fundadora de Both Landscape and Architecture.

¹² Este innovador ladrillo aspira la polución del aire, https://www.archdaily.mx/mx/775575/este-innovador-ladrillo-aspira-la-polucion-del-aire?ad_source=search&ad_medium=search_result_all, fecha de consulta: 2019.

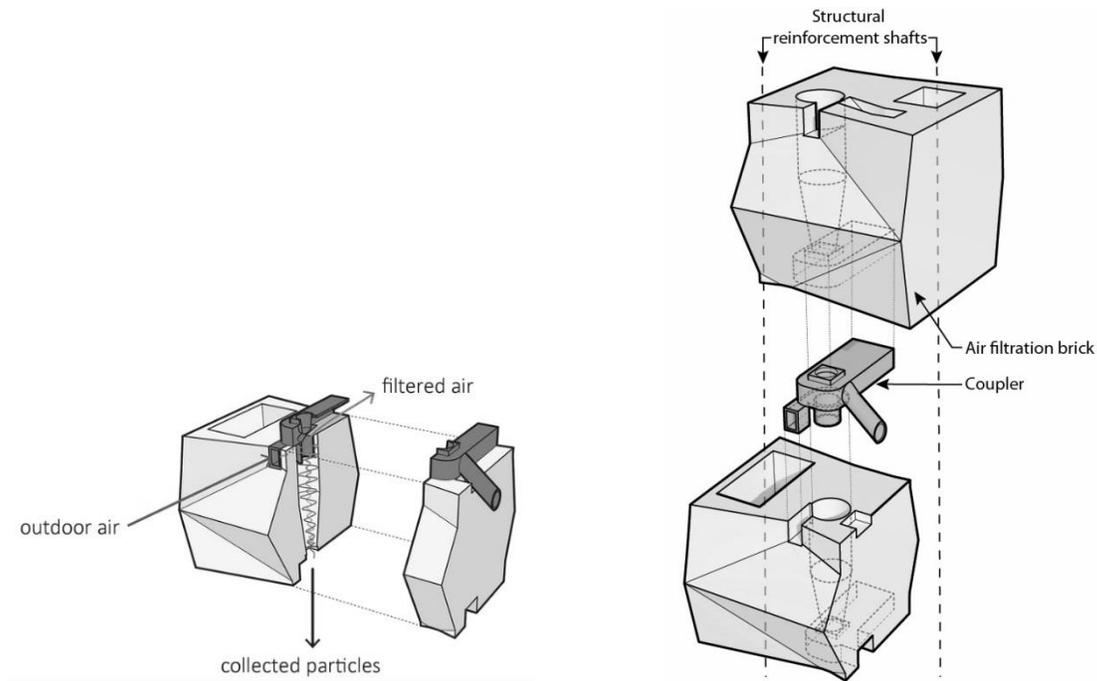


Imagen 37. "Breathe Brick: el innovador ladrillo aspira la contaminación del aire".

Recuperado de <https://www.archdaily.mx/>¹³

Materiales

· Concreto biológico

Este tipo de concreto resulta el soporte ideal para el crecimiento de microalgas, hongos, líquenes y musgos. El objetivo del Grupo de Tecnología¹⁴, dedicado a la investigación del concreto biológico, es encontrar la forma de acelerar el crecimiento de estos organismos y así obtener un aspecto mayormente verde en el concreto en no más de un año, asimismo, la idea es que estas fachadas cambien de color durante el año, haciendo evidente el cambio de estaciones y cómo se manifiesta en su vegetación.

¹³ IBIDEM

¹⁴ El mérito de su invención le corresponde al grupo de investigación de la Universitat Politècnica de Catalunya(UPC), del grupo de Ingeniería de la Construcción formado por Sandra Manso, Ignacio Segura y Antonio Aguado entre otros.



Imagen 38. “Simulación de una fachada de concreto biológico”
Recuperada de la Universidad Politécnica de Cataluña UPC¹⁵.

· Concreto poroso (sin finos)

Cementos Moctezuma

La patente de Cementos Moctezuma contiene agregados gruesos con granulometría estrecha, con poco o ningún fino, e insuficiente pasta de cemento para rellenar los vacíos entre las partículas de agregado grueso. Este concreto de baja relación agua-cemento y bajo revenimiento (asentamiento), que parece palomitas de maíz, se mantiene unido por la pasta de cemento en los puntos de contacto del agregado grueso. El concreto producido posee un alto contenido de vacíos (20% a 35%) y alta permeabilidad, permitiendo que el agua fluya a través de él fácilmente y a su vez propicia la retención de polvos (H., Steven; Kerthoff, Beatrix; C., William; Tanesi, Jussara, 2004, pag. 390)¹⁶.

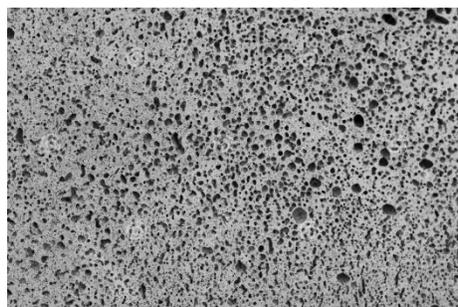


Imagen 39. “Concreto poroso”

Recuperada de <https://concretoenlaconstruccion.com/concreto/proceso-constructivo-de-concreto-permeable/>¹⁷

¹⁵ Hormigón biológico para construir “fachadas vivas”, <http://www.comunidadism.es/actualidad/hormigon-biologico-para-construir-fachadas-vivas>, fecha de consulta: 2019.

¹⁶ Kosmatka Steven H, Kerthoff Beatrix, Panarese William C., y Tanesi Jussara, Portalnd Cement Assosiation, Diseño y control de mezclas de concreto, 2004, Illinois EUA, 2004, pag. 390, parrafo 7, fecha de consulta: 2019.

· Aditivo para concreto “Ecobas”

Basaltex

Ecobas es un aditivo que es capaz de descontaminar sustancialmente el aire y generar compuestos naturales que benefician el desarrollo de áreas verdes sin afectar su diseño o desempeño. Crea un proceso de oxidación de partículas llamado fotocatalisis que cuando las partículas contaminantes del aire se adhieren, los rayos UV crean una reacción química que los neutraliza y convierte en nitratos. Posteriormente, esos nitratos serán removidos de la superficie del concreto con agua.

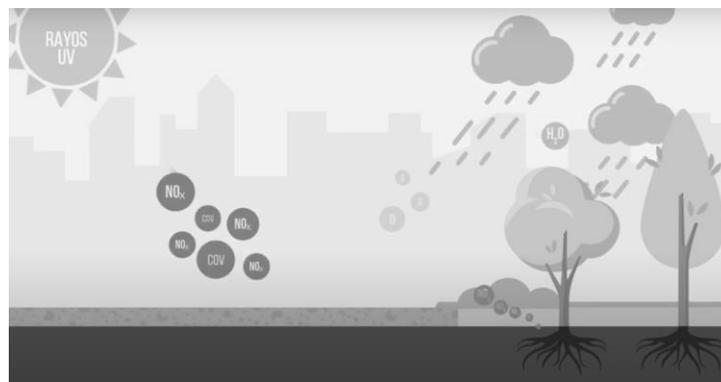


Imagen 40. “Funcionamiento del aditivo fotocatalítico en el concreto”

Recuperada de <https://www.basaltex.com.mx/ecobas/>¹⁸

3.2 Estrategia de diseño

Visto el incremento de los índices de emisión de partículas suspendidas en la CDMX y Zona Metropolitana en los últimos años¹⁹ (Gráfica 10) y el aumento de afectaciones a la salud se han puesto en marcha diversos proyectos de mejora gubernamentales y privados para la aportación a la disminución de éstos contaminantes atmosféricos en el aire que respiramos; a razón de esto, se hace la propuesta arquitectónica del diseño de una celosía de

¹⁷Proceso constructivo de concreto permeable, <https://concretoenlaconstruccion.com/concreto/proceso-constructivo-de-concreto-permeable/>, fecha de consulta: 2019.

¹⁸ Ecobas by Basaltex, <https://www.basaltex.com.mx/ecobas/>, fecha de consulta: 2019.

¹⁹ Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>

fachada exterior que coadyuve con la prevalencia de una calidad del aire aceptable dentro de un espacio arquitectónico.

Se propone que dicha celosía como piel constructiva del edificio opere tal como lo hace una barrera y que a través de diversos parámetros logre interactuar favorablemente del interior al exterior y viceversa, es decir, como una membrana autorreguladora de las condiciones de la calidad del aire interior mediante la captación de partículas suspendidas y que satisfaga una parte que integradora del confort higrotérmico de los usuarios dentro de una edificación.

Con ésta propuesta se espera establecer una estricta relación entre el acondicionamiento natural, la arquitectura y el medio que los rodea explotando las características del acondicionamiento natural para implementarlas en un elemento constructivo que interactúe con la plástica de la fachada con el fin de proporcionar aire puro con la calidad necesaria para la óptima realización de las actividades del usuario.

Durante el proceso experimental se consideraron diversos aspectos tales como la calidad, la dirección y la velocidad del aire en movimiento, fue necesario comprender el patrón de comportamiento del viento, se identificaron los requerimientos específicos de la ventilación desde el punto de vista de confort higrotérmico y el diseño de un sistema de ventilación a partir de dimensiones, formas, aberturas, principios mecánicos y elementos auxiliares.

La función de la composición de la pieza se consideró conveniente constituirse de diversos principios mecánicos que dan razón de ser a las formas geométricas propuestas en función a principios aerodinámicos y fluido dinámicos; por otro lado, también se propuso integrar vegetación como elemento auxiliar que por sus propiedades y características es capaz de remover contaminantes del aire, regenerar el oxígeno de la atmósfera y de purificar el ambiente.

Se realizaron diversos análisis sobre la forma y el material del que se constituye la celosía. El primero de ellos es el estudio de la geometría a partir de modelos 3D y parámetros virtuales, con esto se planteó dar pie a la interpretación de los datos resultantes y su viabilidad.

En segundo lugar se indagó en el material del que fue propuesta la pieza; en éste caso: el concreto; óptimo para los fines que se requerían en ésta investigación, ya que al ser un material flexible en su diseño a su vez se requirieron características como resistencia, durabilidad, dureza, maleabilidad, porosidad, ligereza y manejabilidad.

La elaboración de la pieza consistió en el seguimiento de criterios de proceso de industrialización, tomando en cuenta que fue necesario considerarlos para la posible elaboración de las piezas en serie de manera proyectual; en éste sentido se realizaron diversas pruebas con distintos moldes y así poder evaluar y finalmente utilizar el más conveniente para los fines requeridos, tal es el caso del uso de los siguientes métodos: molde a cera perdida y encofrado de madera.

Para concluir los pasos metodológicos se planteó realizar mediciones in situ de la evaluación de la calidad del aire que pasa a través de la celosía, de ahí que se obtuvieron los resultados concluyentes sobre el diseño geométrico y por ende de la investigación.

3.3 Metodología de diseño

3.3.1 Arquitectura

El proceso metodológico que cimienta el aporte arquitectónico se compone del análisis de las características físicas de las partículas atmosféricas como el núcleo precursor de la investigación; enseguida se describe el proceso que compone a la aportación arquitectónica que va desde la explicación de la geometría, de la fachada, de la celosía, de la ventilación natural, de la función, del dimensionamiento, la forma, el peso, la ubicación, la orientación y la construcción; finalmente se muestra la propuesta resultante desde donde se iniciarán los análisis en congruencia con otras disciplinas.

3.3.2 Análisis de dinámica de fluidos computacional

Actividades: Simulación computacional mediante la aplicación de principios y variables físicas.

Lugar: Laboratorio de Entornos Sostenibles, Facultad de Arquitectura UNAM.

Equipo y herramienta: ANSYS Fluent plataforma de simulación DFC²⁰ y Autocad 3D

Asesor: Mtro. en Ing. Mecánica Sean Rodolfo Sebastián Vilchis Martínez

Orientación e información: Aplicación de principios de termodinámica, propiedades de los vientos, patrones de comportamiento de acuerdo a su composición.

En éste aspecto metodológico se opta por hacer uso de simulador virtual ANSYS Fluent de manera previa a la experimentación efectiva, ya que mediante los resultados obtenidos se podrá tener una idea de lo que se puede esperar del comportamiento in situ.

²⁰ Dinámica de fluidos computacional.

El análisis consiste en la comprensión del funcionamiento del simulador, en la realización del modelo 3D, procesamiento, procesamiento en Fluent y modelos físicos empleados, resultados y propuesta de mejora, siendo que de éste último se derivan líneas de investigación.

3.3.3 Moldería

Actividades: Armado de prototipo, elaboración de molde perdido, encofrado y fundición de cera.

Lugar: Laboratorio de Diseño y Manufactura FES Aragón UNAM

Equipo y herramienta: Herramienta básica y materiales (soplete, cera, encofrado, madera)

Asesor: Ing. Ind. Gaspar Villegas Ramírez y Dis. Ind. Javier Sombrerero Hernández

Orientación e información: Diseño de molde, principios de moldeado y desmolde e industrialización.

En éste proceso metodológico se demuestran diversos procesos que se llevaron a cabo de experimentación para la obtención final de un molde perdido, el cual fue útil y esencial para poder llevar a cabo el proceso visto desde otras disciplinas.

Posterior a los análisis de los datos obtenidos de principios arquitectónicos planteados y en el simulador computacional se dio paso a la construcción y reproducción de la pieza en escala real para su comprobación en sitio; para esto, se llevó a cabo un proceso de estudio y análisis para la elaboración del molde en primera instancia y enseguida la obtención de la celosía de concreto.

Se tomaron en cuenta diversos parámetros, principalmente las características del concreto a emplear, su temperatura de fraguado, su dureza y maleabilidad, el proceso consistió en comprender los principios de la industrialización de un producto, comprensión de la geometría con base en impresión 3D, ensayos en diversas propuestas de moldes, obtención del prototipo y una propuesta de mejora, siendo que de éste último se derivan líneas de investigación.

3.3.4 Análisis del concreto como material compositivo

Actividades: Planteamiento formal, estructural y funcional del objeto. Elaboración de mezcla, vaciado, colado y curado de concreto mediante dosificaciones, ensayo de probetas cilíndricas metálicas a los 3, 7, 14 y 28 días para comprobación de resistencias.

Lugar: Laboratorio de Concretos FES Aragón UNAM

Equipo y herramienta: Charolas, probetas, espátulas, moldes, pinzas, varilla punta de bola, mazo de goma, enrazador, franelas, cepillo de alambre, revolvedora, máquina universal y material de fabricación.

Asesor: Presidente del Capítulo Estudiantil ACI FES Aragón, Pas. Ing. Civil. Aldo B. Melendez Zamarripa

Orientación e información: Diseño de mezcla de concreto bajo criterio de sistema constructivo y con el método de "Volumenes absolutos" del Portland Cement Association. Mezcla, vaciado, colado y curado de concreto, ensayo de cilindros a los 3, 7, 14 y 28 días para comprobación de resistencias.

El proceso metodológico conduce a conocer las capacidades físicas del material de la celosía, éste análisis se compone de la argumentación de la elección del material, consideración de características y requerimientos, elaboración del prototipo de ensaye, el diseño de concreto, ensayos para comprobación de resistencias y análisis de esfuerzos cortantes.

3.3.5 El musgo como elemento auxiliar

Actividades: Recolección de muestras de la zona de estudio y reproducción de la planta.

Lugar: Instituto de Biología U.N.A.M.

Equipo y herramienta: Microscopio.

Asesor: Biólogo especialista en briofitas (musgos): Dr. Claudio Delgadillo

Orientación e información: Características, análisis de laboratorio, sugerencia de aplicación, desarrollo y reproducción

En ésta investigación se plantea implementar una capa vegetal al módulo de concreto para así comprobar mayor eficiencia en los principios físicos de viscosidad y fricción que se generan en la geometría planteada; con esto, se extendería una línea de investigación sobre la reproducción y crecimiento de musgo “*Pseudocrossidium Replicatum*” en el concreto como material de construcción con diversos fines de explotación en la rama de la arquitectura.

Éste proceso metodológico consistió en un análisis de la especie “briofita”, su definición, características y hábitat; enseguida se planteó un criterio de requerimientos para la elección del tipo ideal; en consiguiente se indagó en el método de reproducción sobre el material y la superficie deseada y finalmente se presenta un diagrama donde se muestra la aplicación del musgo integrado en la celosía de concreto.

3.3.6 Muestreo y mediciones gravimétricas

Actividades: Medición de la calidad del aire

Lugar: Centro de Ciencias de la Atmósfera U.N.A.M. y Laboratorio de Análisis Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, Sistema de Monitoreo Atmosférico Zona Norte

Equipo y herramienta: Equipo para colecta de partículas atmosféricas

Asesor: Dra. en Química. Elizabeth Vega Rangel

Orientación e información: Entrevista, marco teórico, patrón de comportamiento de partículas solidas, estado actual de contaminación ambiental, mediciones ambientales en situ, obtención y evaluación de la concentración de partículas.

Éste aspecto metodológico consiste en hacer una comparativa de la calidad del aire exterior con la calidad del aire que pasa a través de la celosía; éste proceso se evaluará en tres muestreos de partículas con dos equipos de manera simultánea (un equipo con la celosía y el otro sin ella) que tendrán una duración de 24 horas cada una como lo marca la norma “Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-025-SSA1-2020”; las pruebas se efectuarán en torno a la construcción de un pequeño muro de mampostería con ayuda de la máquina “BGI PQ 200²¹” que se encuentra situada en la azotea del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, Sistema de Monitoreo Atmosférico Zona Norte; posterior a las pruebas antes mencionadas, los resultados gravimétricos se pesarán con el fin de conocer la comparación de partículas resultante entre cada una de ellas.

De éste proceso finalmente resultará el conocimiento de la eficiencia de la celosía de concreto in situ.

²¹ Muestreador de partículas suspendidas.

4

Resultados **conclusiones y proyección**

- Comparativas, resultados y mejoras
 - Líneas de investigación
 - Conclusiones generales

CAPÍTULO IV

Memoria descriptiva, proyección y conclusiones

4.1 Desarrollo, resultados y mejoras

En ésta sección se explica el proceso descriptivo, los resultados obtenidos y la propuesta de mejora de cada uno de los aspectos que integran la investigación:

- Arquitectura
- Análisis de dinámica de fluidos computacional
- Moldería
- Análisis del concreto como material compositivo
- El musgo como elemento auxiliar
- Muestreo y mediciones gravimétricas

4.1.1 Arquitectura

Análisis y características físicas de las partículas atmosféricas

Tabla informativa para fines de la investigación	
Medio de transporte	Aire
Viento en movimiento	Ventilación
Presencia de partículas atmosféricas	A nivel olfativo del ser humano
Diámetro aerodinámico de PM10	10 μm
Concentración de PM10/m ³	55.40 $\mu\text{m}/\text{m}^3$
Comportamiento de partícula atmosférica	Por su baja densidad se encuentra suspendida en el aire, no existe precipitación
Forma de las partículas atmosféricas	Amorfa

Tabla 15. "Tabla informativa para fines de la investigación".

Autoría propia.

El análisis del comportamiento, composición, características y propiedades de las partículas fueron datos necesarios al ser parte esencial en el desarrollo de la investigación; al contar

con ésta información se logró comprender la conexión que existe entre las partículas suspendidas con el aire, que a su vez éste último es la herramienta o el factor básico de la ventilación en los espacios arquitectónicos. Posterior a esto, se dio inicio a la propuesta de investigación.

Aportación arquitectónica

- Geometría:

La geometría fungió como la directriz del elemento propuesto. Actualmente, existen algunas investigaciones, productos comerciales, propuestas de mejoras, elementos constructivos, materiales y sistemas automatizados que brindan una aportación significativa a la industria de la construcción orientados en la reducción de contaminantes de la atmósfera, tal es el caso del ozono (O₃), el bióxido de azufre (SO₂), el bióxido de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO) y las partículas suspendidas menores a 10 y 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5}).

Al indagar en éstos mecanismos se concluyó de que al día de hoy no existe elemento constructivo que por medio de su propia geometría y la prevalencia de sistemas activos fuera capaz de tener un control inocuo en la captación de partículas atmosféricas. Resulta conveniente destacar que el diseño de la celosía pretende realizar la captación de partículas suspendidas a partir de sus mismos componentes geométricos considerando el uso de sistemas pasivos y mecánicos para su concepción.

- Fachada:

La fachada de un edificio es el muro con vista al exterior que envuelve, dando privacidad al interior y que comúnmente sirve de protección ante los fenómenos climáticos (lluvia, calor, frío, nieve, vientos entre otros) y agentes para los cuales se emplean diferentes soluciones constructivas¹.

¹ Fachadas, <https://www.construmatica.com/construpedia/Fachadas>, fecha de consulta: 2019.

Existen elementos que forman parte de las fachadas y cuya función es controlar y graduar el ingreso de diversos agentes externos en los ambientes interiores, tal es el caso de la iluminación natural, elementos de ventilación, cerramientos parciales de vistas, protección y seguridad entre otros.

- Celosía

La celosía es un elemento arquitectónico que se ha utilizado desde tiempos muy antiguos para crear barreras sutiles entre el interior y el exterior, las celosías consisten en un muro o elemento vertical no sólido que permite la vista o el paso de aire de un lado hacia el otro, al construirse en bloques o piezas que se conectan².

Para fines de la investigación las funciones convencionales de la celosía son las siguientes:

- Separación del interior y exterior
- Como elemento decorativo para vistas de la edificación

En ésta investigación se consideraron las siguientes funciones adicionales:

- Regulación de la velocidad del viento
- Regulación del paso de aire
- Captación de partículas atmosféricas
- Purificación de aire

- Ventilación natural:

Al conocer los componentes que integran la ventilación natural y para fines de la investigación fue necesario considerar las normas para una buena ventilación natural, factores y elementos del clima y del microclima, variables arquitectónicas y constructivas para el diseño de la ventilación natural, requerimientos bioclimáticos para brindar bienestar integral del usuario en su hábitat y los movimientos del aire (adecuada localización de la entrada, adecuada localización de la salida, forma y tipo de aberturas, elementos

² Celosías: Las más recientes noticias y obras de arquitectura, <https://www.archdaily.mx/mx/tag/celosias>, fecha de consulta: 2019.

arquitectónicos, determinación del tamaño de las aberturas, divisiones dentro del espacio y orientación en ventilación cruzada).

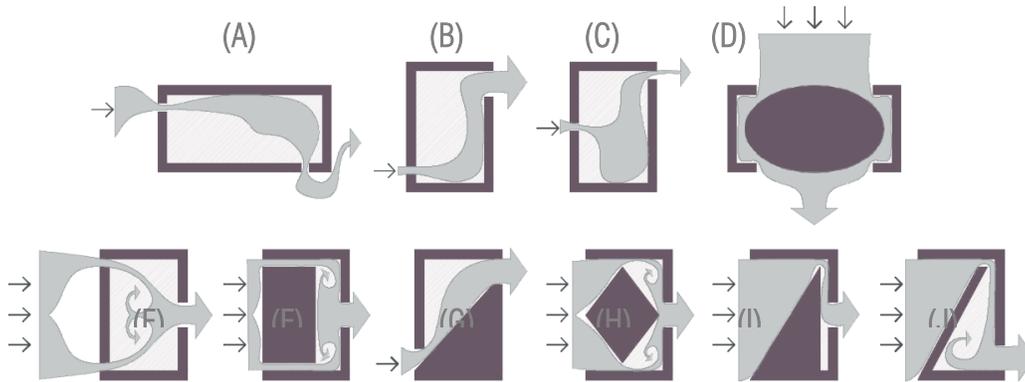


Imagen 41. "Análisis del patrón del comportamiento del viento que pasa a través de un espacio³".

Autoría propia.

· Función:

Principios, sistemas y geometrías empleadas
Fricción y viscosidad
Estrangulamiento
Principio de Venturi
Aspa de ventilación o alabe
Angulo de ataque
Turbulencia
Forma, tamaño de la abertura y ubicación
Entrada y salida del viento
Captador

Tabla 16. "Principios, sistemas y geometrías empleadas".

Autoría propia.

· La dimensión, la forma y el peso:

La dimensión, forma y el peso se determinaron tomando como referencia celosías comerciales existentes y que se encuentran en el mercado actualmente, algunas de las

³ Posterior a analizar composiciones geométricas se opta por trabajar en torno a la geometría (J)

marcas análogas son Norvacerámico y Basaltex, que por sus composiciones, forma y función han sido elementos constructivos estudiados para poder comercializarse.

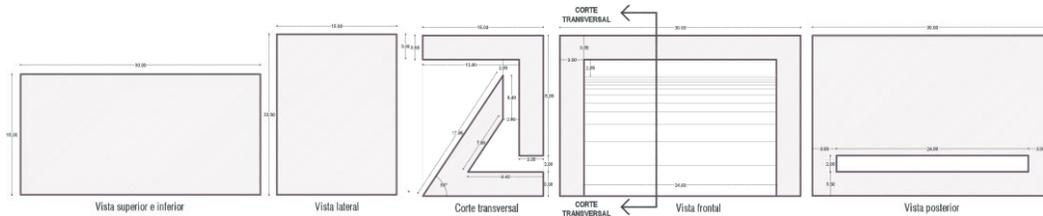


Diagrama 12. "Dimensiones constructivas".

Autoría propia.

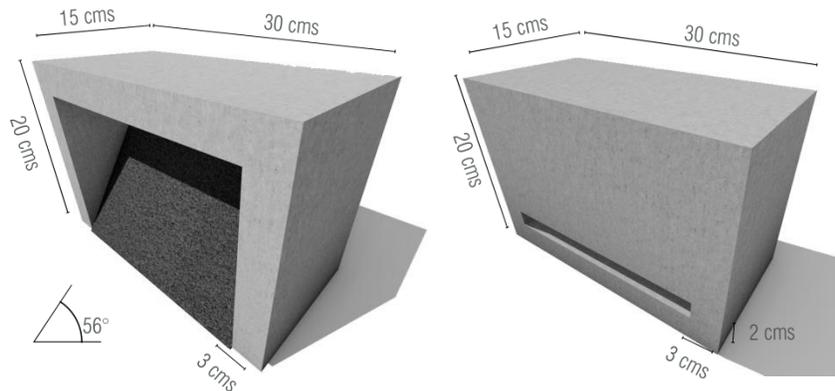


Diagrama 13. "Perspectiva frontal y posterior".

Autoría propia.

El peso se planteó ligero pero con la suficiente resistencia para soportar las formas esbeltas que se presentan en algunas partes de la pieza.

- Ubicación, orientación y construcción:

La ubicación en el edificio es un factor importante para su funcionamiento, en éste caso, al ser una pieza con vanos interiores (no transversales) indica que por su forma, únicamente permite el paso del viento, por lo tanto, los demás agentes externos (iluminación solar, lluvia y nieve) fueron elementos no esenciales para el análisis al que se hace referencia más adelante.

El ensamble y la colocación se planteó de manera similar a un muro de mampostería. Se prefirió que la orientación fuera hacia la dirección de los vientos dominantes del sitio en el que se encuentre emplazado el edificio o en caso de que la mayor actividad ocupacional se desarrolle en horarios fijos, será necesario considerar la implementación de la celosía orientada hacia los vientos dominantes del horario al que se hace referencia según sea el caso.

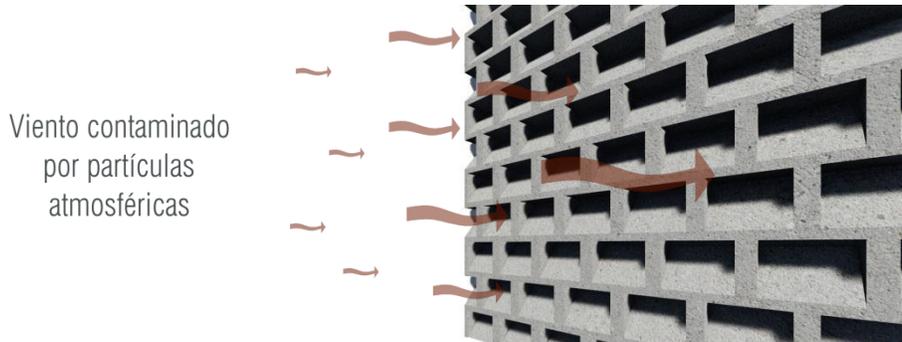


Diagrama 14. "Sistema constructivo y vientos dominantes".

Autoría propia.

Propuesta

- Condiciones de diseño:

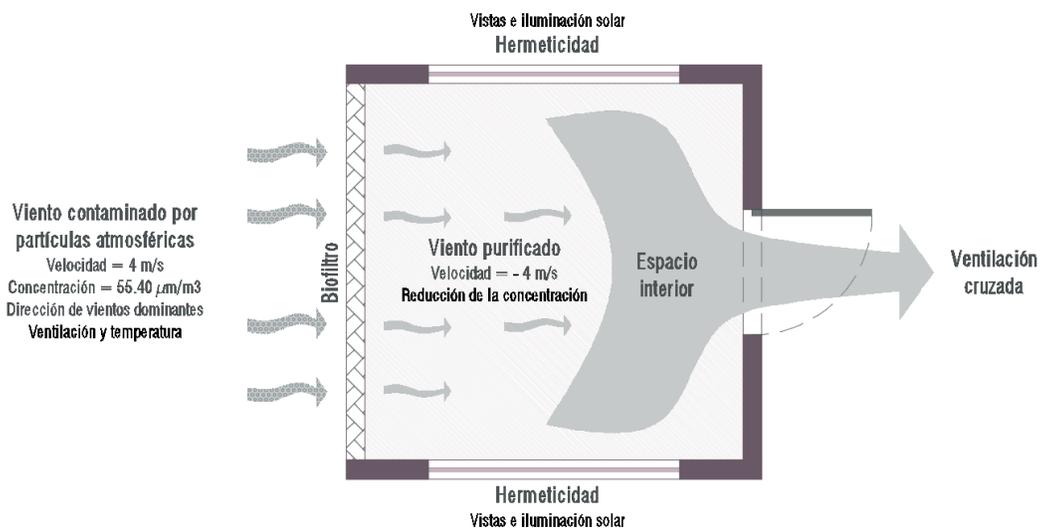


Diagrama 15. "Condiciones de diseño (A)".

Autoría propia.

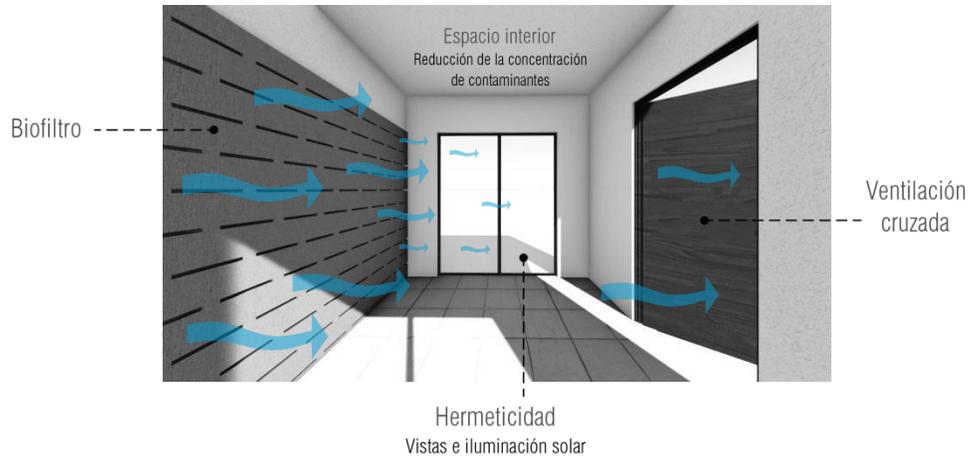


Diagrama 16. "Condiciones de diseño (B)".
Autoría propia.

· Diagrama general:

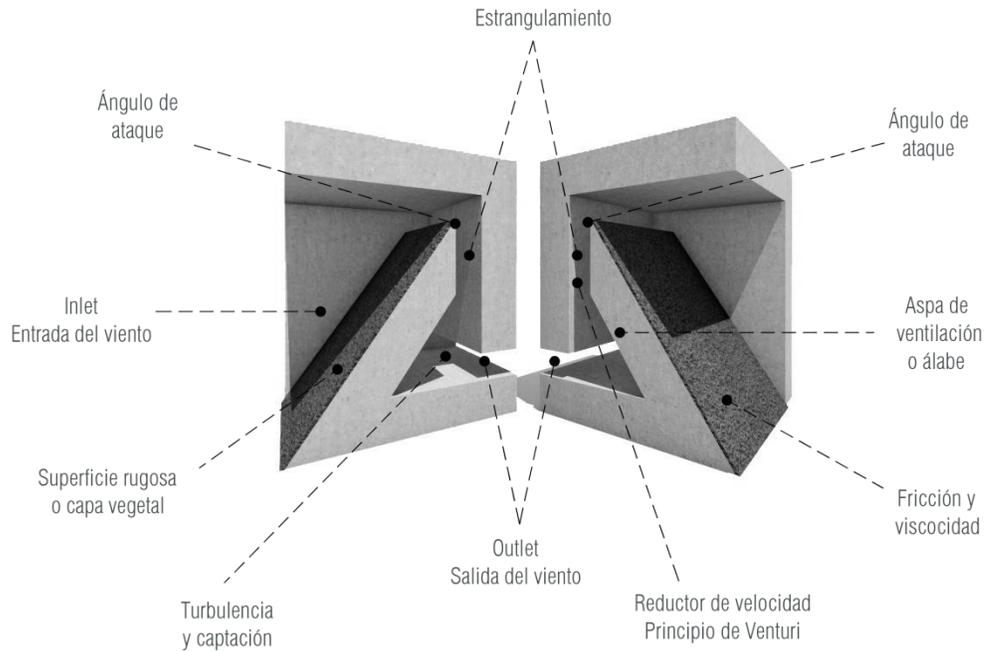


Diagrama 17. "Componentes de diseño".
Autoría propia.

4.1.2 Análisis de dinámica de fluidos computacional

Descripción de ANSYS Fluent

La dinámica de fluidos computacional o DFC es un campo de estudio dedicado a la modelación de procesos de flujo de fluidos mediante la solución numérica de sus ecuaciones. Se emplea la DFC para obtener detalles acerca del campo de flujo, como los esfuerzos de corte, velocidad y perfiles de presión y líneas de corriente, además, los datos experimentales se emplean con frecuencia para validar soluciones de DFC al comparar las cantidades globales determinadas de manera computacional y experimental. La DFC se emplea entonces para abreviar el ciclo de diseño por estudios paramétricos que son controlados con cuidado, de modo que se reduce la cantidad necesaria de análisis experimental.

Las ecuaciones de movimiento pueden resolverse mediante la DFC para el caso de flujo estacionario, incompresible, laminar de un fluido newtoniano con propiedades constantes y sin efectos de superficie libre. Se utiliza un sistema coordenado cartesiano y funciona por un método llamado “Método de volumen finito”⁴ (Cengel, Y., Cimbala, J. M.; 2012, pág. . 818)⁵.

Modelación de la geometría en CAD para análisis por DFC

Una vez analizada la factibilidad de las alternativas propuestas, se elige la geometría para su estudio, ésta se modela en el software de modelado 3D Autocad y posteriormente, se exporta al software de simulación DFC.

⁴ Método numérico de solución de ecuaciones de flujo

⁵ Cengel Yunus, Cimbala Jhon. M., McGraw-Hill, Mecánica de Fluidos; Fundamentos y Aplicaciones, 2012, México, pág. 818, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

- Modelos 3D en autocad



Imagen 42. "Dominio computacional"⁶
Autoría propia.

- Exportación del modelo .SAT

Archivo geométrico neutral con las unidades y características del modelo

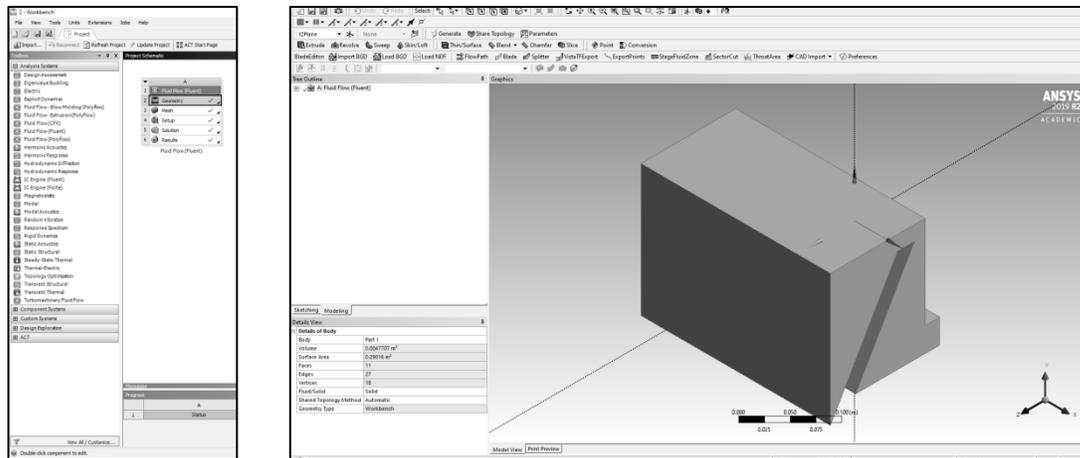
Preprocesamiento, procesamiento y postprocesamiento

En ésta etapa, como primer punto se elaboró el modelo geométrico, su exportación y mallado; enseguida, se configuró el motor de cálculo y se obtuvo la solución de las ecuaciones del modelo y finalmente se realizó una lectura de los resultados y su interpretación con base en gráficas, tablas, etc.

- Importar y configurar el modelo .SAT en ANSYS

El diseño virtual se importa en coordenadas.

⁶ Un dominio computacional es la región en el espacio en la cual las ecuaciones de movimiento, es el volumen del fluido en el que se experimentará, en este caso, el aire.



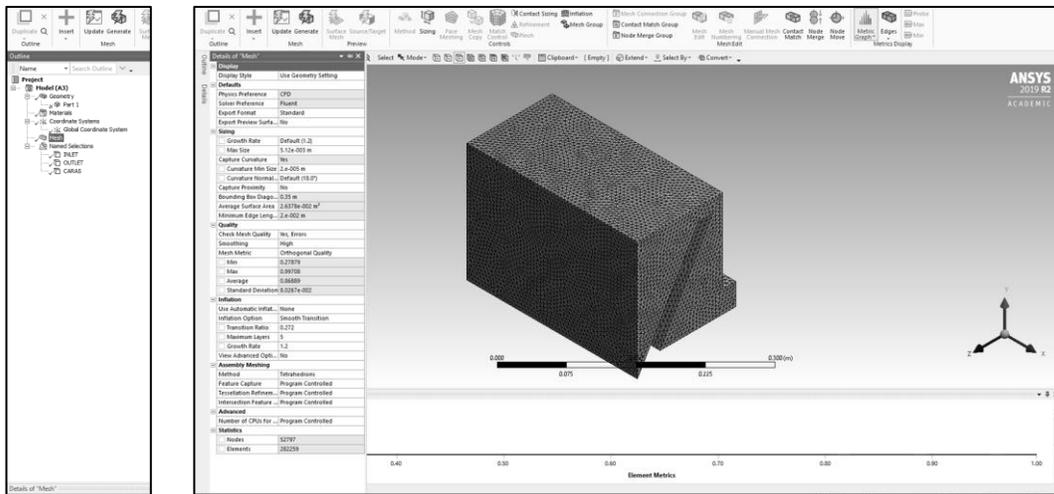
Imágenes 43. "Importación de geometría"

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

• Mallado computacional

Se elige un dominio computacional y se genera una malla (conocida también como red de nodos); el dominio se divide en muchos elementos pequeños llamados celdas. Para dominios de dos dimensiones (2D), las celdas son áreas, mientras que para dominios tridimensionales (3D) son volúmenes (Cengel, Y., Cimbala, J. M.; 2012, pág. 819).

El objetivo principal del mallado computacional es el de proveer las condiciones de cálculo geométrico; las cuales, consisten en la discretización del modelo o división en pequeñas partes del dominio o el volumen del fluido de interés; en éste caso, el interior del captador; habiendo dicho lo anterior será posible que al usar el método de volumen finito, el programa sea capaz de calcular los parámetros establecidos en cada una de las pequeñas partes discretizadas del dominio.



Imágenes 44. "Mallado computacional"

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

- Tipo de celdas⁷ y elementos:

Se eligió el modelo tetraédrico para una mejor adaptación de la malla a la geometría del dominio y lograr una mejor exactitud de cálculo.

Puede considerarse a cada celda como un pequeño volumen de control en el que se resuelven las versiones separadas de las ecuaciones de conservación y transporte. Note que aquí el análisis se limita a paquetes de DFC basados en el método de volumen finito centrado en la celda (Cengel, Y., Cimbala, J. M.; 2012, pág. 819)⁸. Se trabajó con la celda cúbica debido al mejor acomodo de su geometría. La calidad de una solución de DFC depende mucho de la calidad de la malla, por lo tanto, se recomendó cerciorarse que la malla sea de alta calidad antes de proceder con el siguiente paso.

⁷ Una celda es un subconjunto pequeño del dominio computacional. Se ilustran a) un dominio bidimensional y celdas cuadriláteras, y b) un dominio tridimensional y celdas hexaedrales.

⁸ Cengel Yunus, Cimbala Jhon. M., McGraw-Hill, Mecánica de Fluidos; Fundamentos y Aplicaciones, 2012, México, pág. 819, párrafo 3, fecha de consulta: 2019.

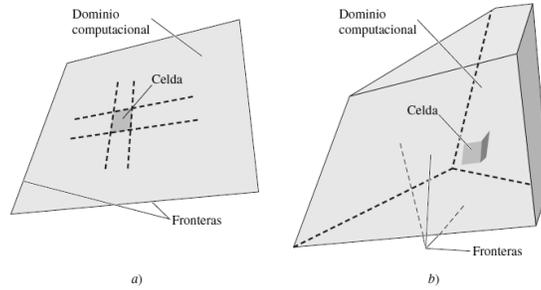


Imagen 45. "Celdas ortogonales y hexaédricas"
 Recuperada de "Mecánica de Fluidos; Fundamentos y Aplicaciones"
 (Cengel, Y., Cimbala, J. M.; 2012, pág. 819)⁹.

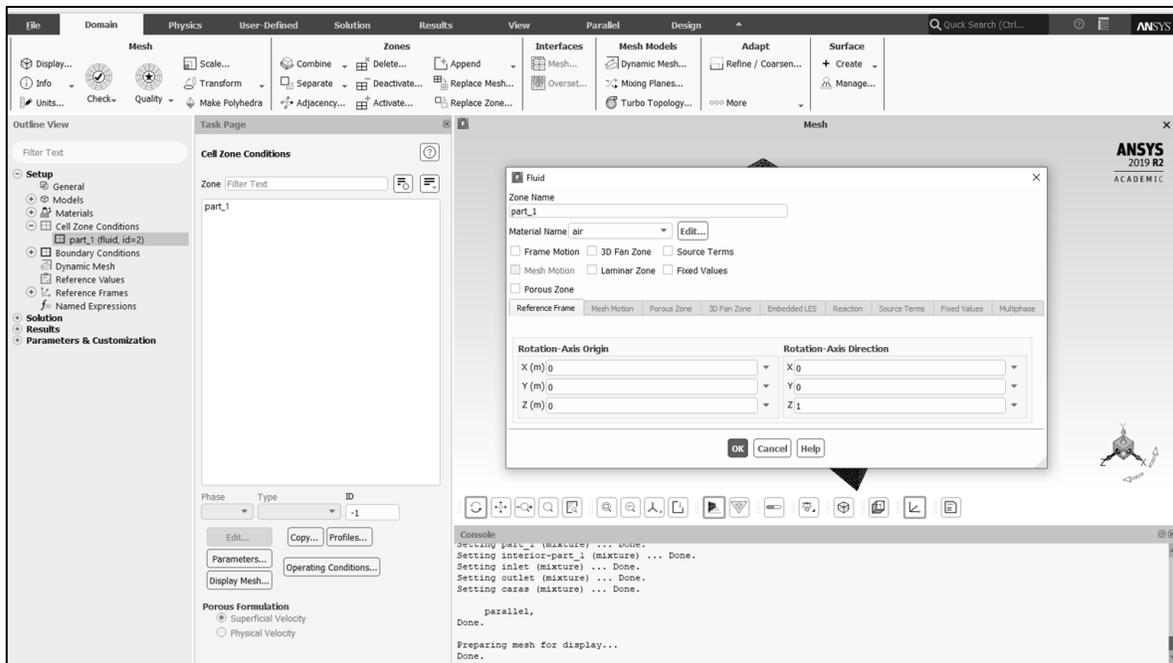


Imagen 46. "Celdas"

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

- Tamaño de elementos:

Mientras más pequeños sean los elementos se consigue una mayor discretización, por lo tanto, una mejor calidad de la malla; por lo que se pretendió estar lo mas cercanamente posible al valor 1.0 logrando un resultado con mayor exactitud y precisión.

⁹ IBIDEM

- Revisión de calidad ortogonal de malla:

Calidad de la superficie proyectada. Se trabajó sobre una malla ortogonal debido a que se genera un mejor calidad de la malla con menor posibilidad a errores.

Procesamiento en Fluent, modelos físicos empleados

Los siguientes modelos son los parámetros que intervinieron en el dominio para dirigir a los resultados.

- K-Epsilon

Existen numerosos modelos de turbulencia que se emplean en la actualidad, uno de los modelos de turbulencia más populares es el modelo k-epsilon¹⁰, éste denominado modelo de turbulencia de dos ecuaciones añaden dos ecuaciones más a la formulación matemática del problema, que deben resolverse de manera simultánea con las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento lineal. Es necesario especificar otras dos condiciones de frontera para las propiedades de turbulencia en entradas y salidas del dominio computacional (Cengel, Y., Cimbala, J. M.; 2012, pág. 842)¹¹.

- Sin transferencia de calor

Cuando se acopla la forma diferencial de la ecuación de la energía con las ecuaciones de movimiento del fluido, puede usarse un paquete de dinámica de fluidos computacional para calcular las propiedades relacionadas con la transferencia de calor, por ejemplo, distribuciones de temperatura o razón de transferencia de calor de una superficie sólida a un fluido; en éste caso no fue necesario hacer uso de ésta ecuación, ya que no era esencial evaluar las condiciones meteorológicas de temperatura, humedad y calor en contraste al uso

¹⁰ En el modelo k-e puede especificarse tanto k (energía cinética turbulenta) como e (razón de disipación turbulenta).

¹¹ Cengel Yunus, Cimbala Jhon. M., McGraw-Hill, Mecánica de Fluidos; Fundamentos y Aplicaciones, 2012, México, pág. 842, párrafo 1, fecha de consulta: 2019.

de los datos del flujo del viento para los fines que se requerían (Cengel, Y., Cimbalá, J. M.; 2012, pág. 853)¹².

- Modelo de fase discreta para rastreo de partículas (Configuración de partículas)¹³

Elemento continuo: aire como elemento de transporte.

Elemento discreto: partículas de ceniza y hollín; como representación a los compuestos orgánicos que componen las partículas suspendidas.

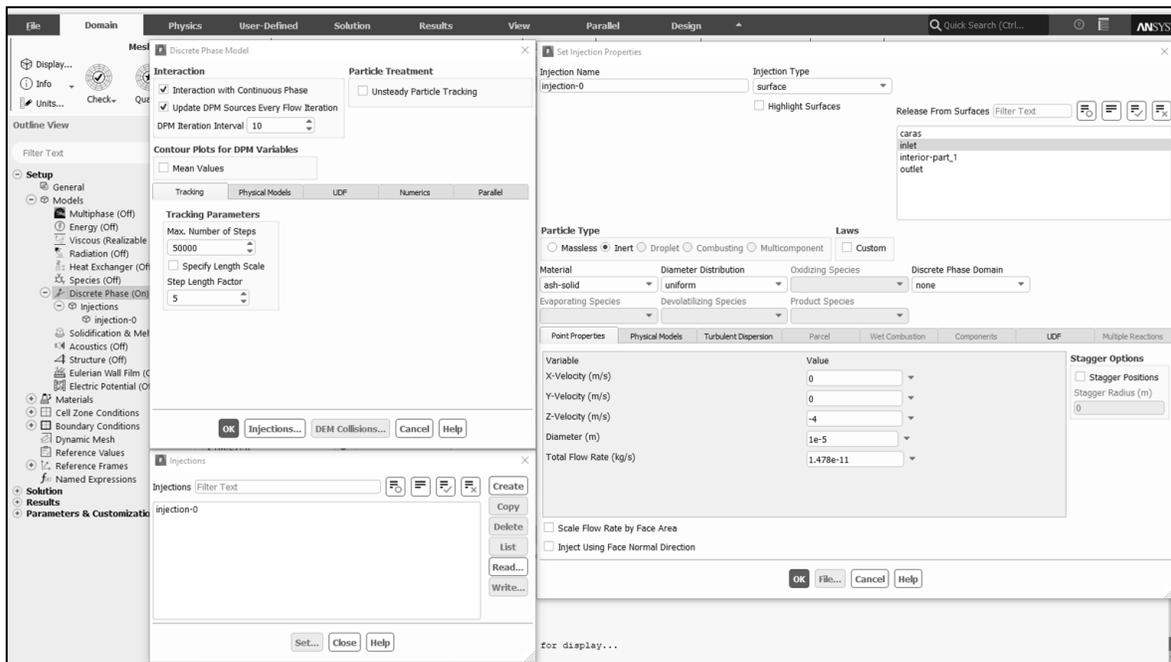


Imagen 47. "Fase discreta"

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

¹² Cengel Yunus, Cimbalá Jhon. M., McGraw-Hill, Mecánica de Fluidos; Fundamentos y Aplicaciones, 2012, México, pág. 853, párrafo 2, fecha de consulta: 2019.

¹³ El modelo de Fase Discreta se utiliza para calcular, mediante simulación el comportamiento de flujo de un fluido continuo (que no tiene fronteras entre los elementos que lo componen, como una corriente de aire) y una sustancia sólida o líquida que se halla circulando dentro del fluido continuo. A la sustancia que fluye en conjunto con el fluido mencionado se llama Fase Discreta ya que tiene fronteras entre las partículas que la forma, tales como diversos tipos de partículas.

- Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera describen el conjunto de variables físicas que ocurren en el borde o frontera del dominio y cuya interacción con el resto del dominio es el objeto de estudio de éste análisis; se identifican para asignar los parámetros necesarios, deben aplicarse con todo cuidado en todas las fronteras del dominio computacional. Se necesitan condiciones de frontera apropiadas para lograr una solución de la DFC de buena precisión.

Existen varias opciones para definir las condiciones de frontera, a través de las cuales entra el fluido al dominio computacional (flujo de entrada) o sale del dominio (flujo de salida). Se clasifican en general como condiciones que especifican la velocidad (entrada o salida de velocidad) o condiciones que especifican la presión (entrada o salida de presión). En una entrada de velocidad se especifica la velocidad del flujo entrante a lo largo de la cara de admisión.

La presión no se especifica en la entrada de velocidad, ya que esto daría lugar a una sobre especificación matemática, porque la presión y la velocidad se acoplan en la ecuación de movimiento. Además, la presión en una entrada de velocidad se ajusta por sí misma para coincidir con el resto del campo de flujo. De modo similar, la velocidad no se especifica en una entrada o salida de presión, ya que esto ocasionaría también sobre especificación matemática. Además, si se establece una condición que especifica presión, la velocidad se ajusta por sí misma para coincidir con el resto del campo de flujo (Cengel, Y., Cimbala, J. M.; 2012, pág. 827)¹⁴.

Se consideró una salida del dominio computacional como una de las condiciones de la frontera de flujo libre a la salida. En este caso de la condición de la frontera de flujo libre a la salida, no se especifican propiedades de flujo; al contrario, las propiedades de flujo como velocidad, turbulencia y temperatura son forzadas a tener gradientes cero normales a la cara de flujo de salida

¹⁴ Cengel Yunus, Cimbala Jhon. M., McGraw-Hill, Mecánica de Fluidos; Fundamentos y Aplicaciones, 2012, México, pág. 827, párrafo 5, fecha de consulta: 2019.

En resumen esto ocurre con la condición de frontera de acceso del fluido o INLET:

Presión: Cuando ingresa un fluido del que se desconoce la velocidad pero se conoce la presión.

Velocidad: Si se conoce la velocidad pero no necesariamente la presión.

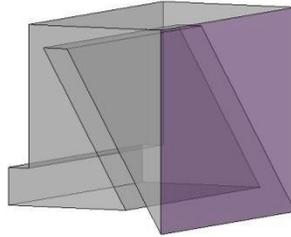


Imagen 48. "Inlet"
Autoría propia.

Esto ocurre con la condición de frontera de salida del fluido OUTLET:

Presión: Desconocida pero presente¹⁵.

Velocidad: Desconocida.

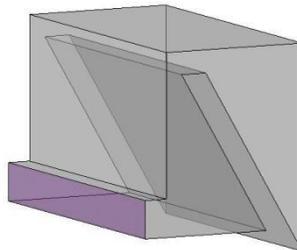
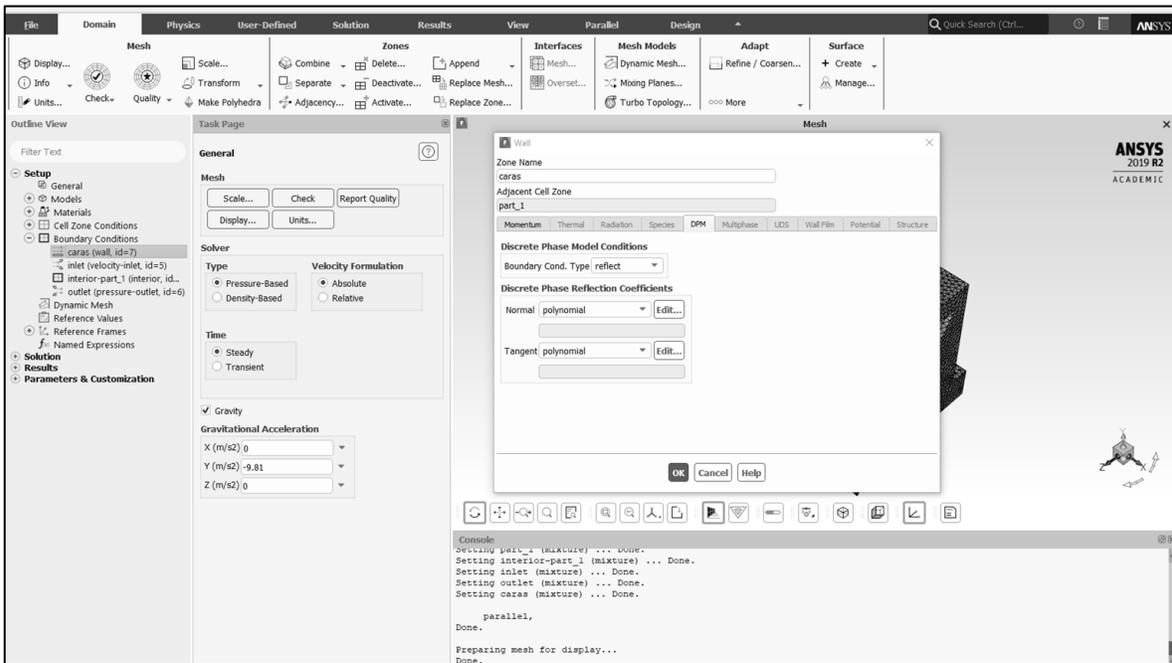
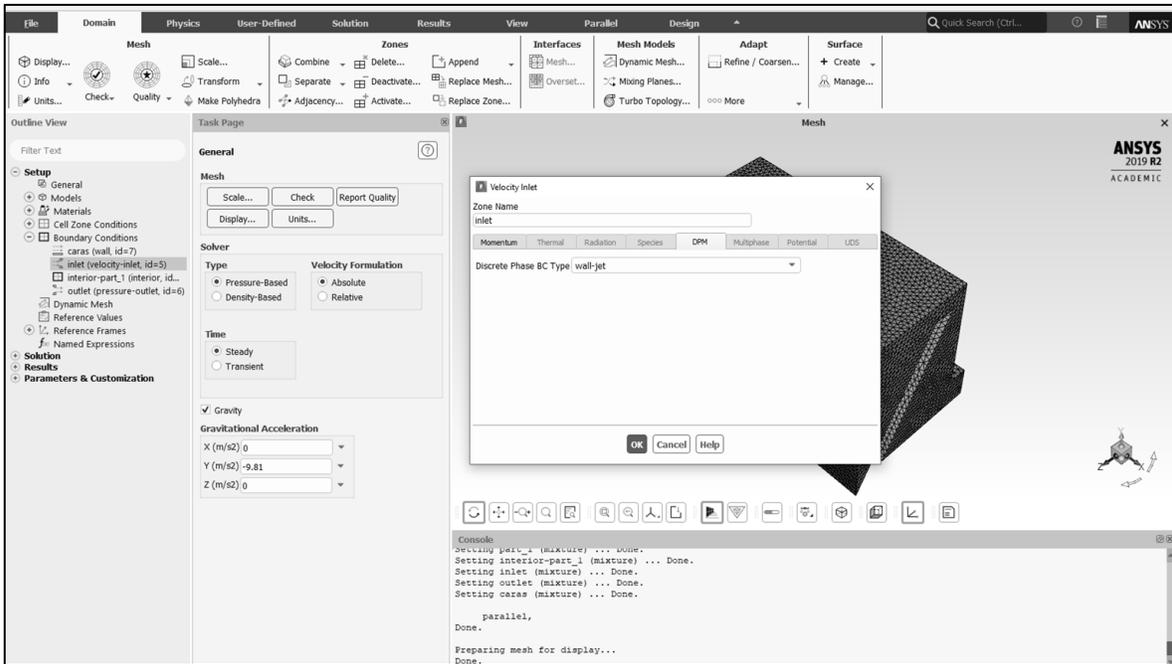
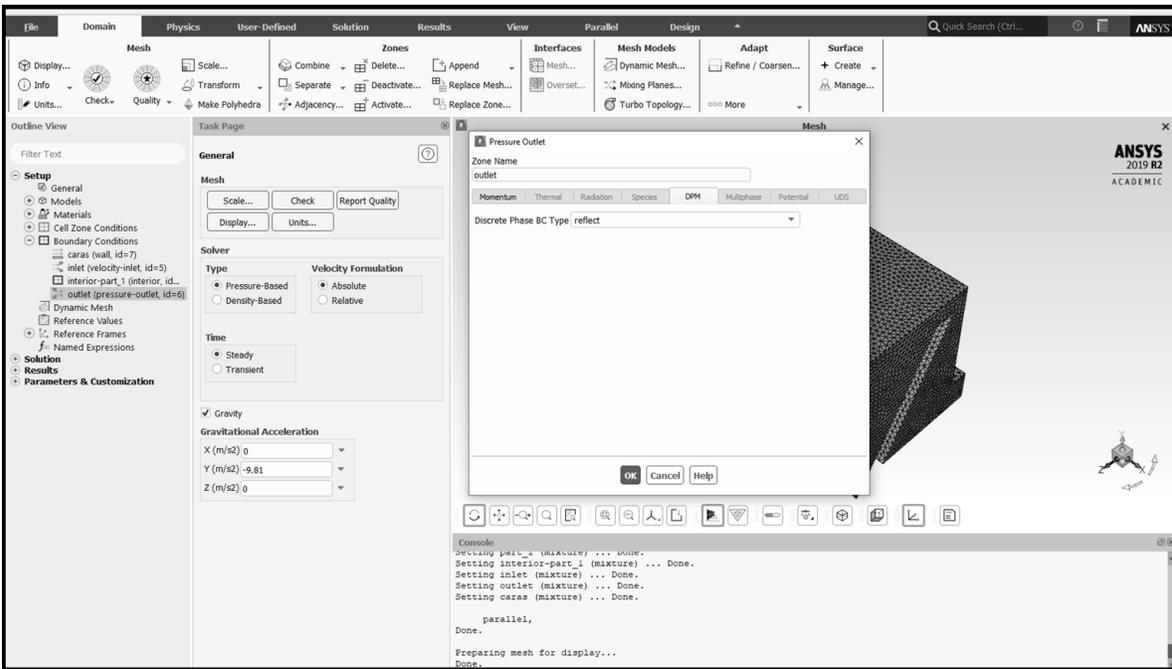
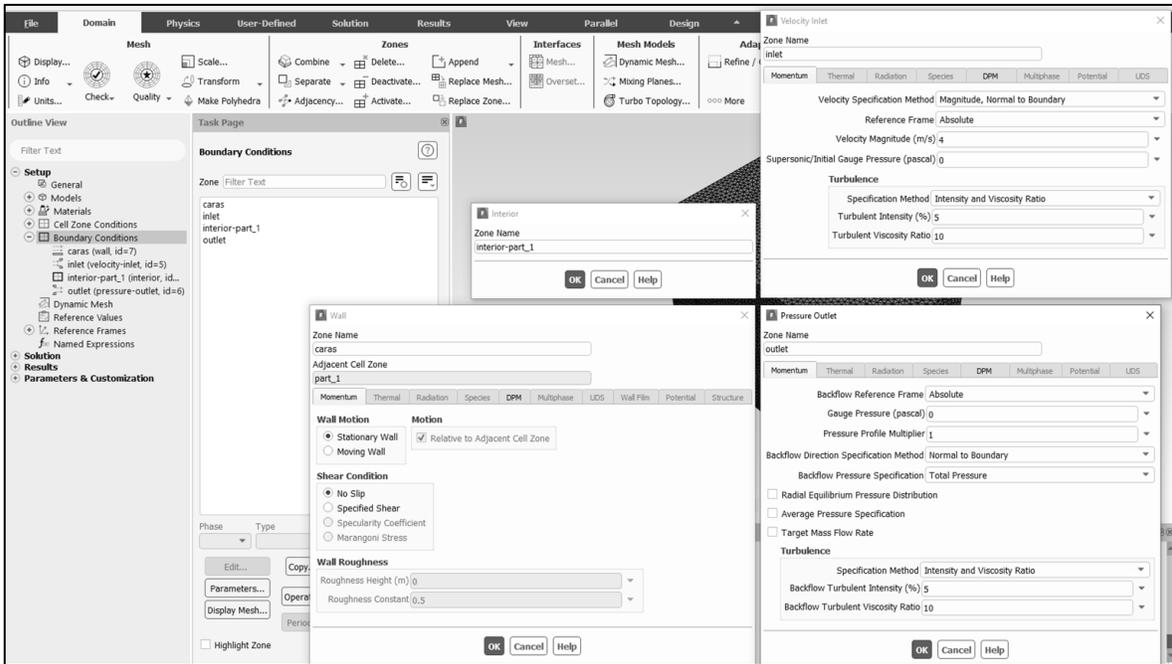


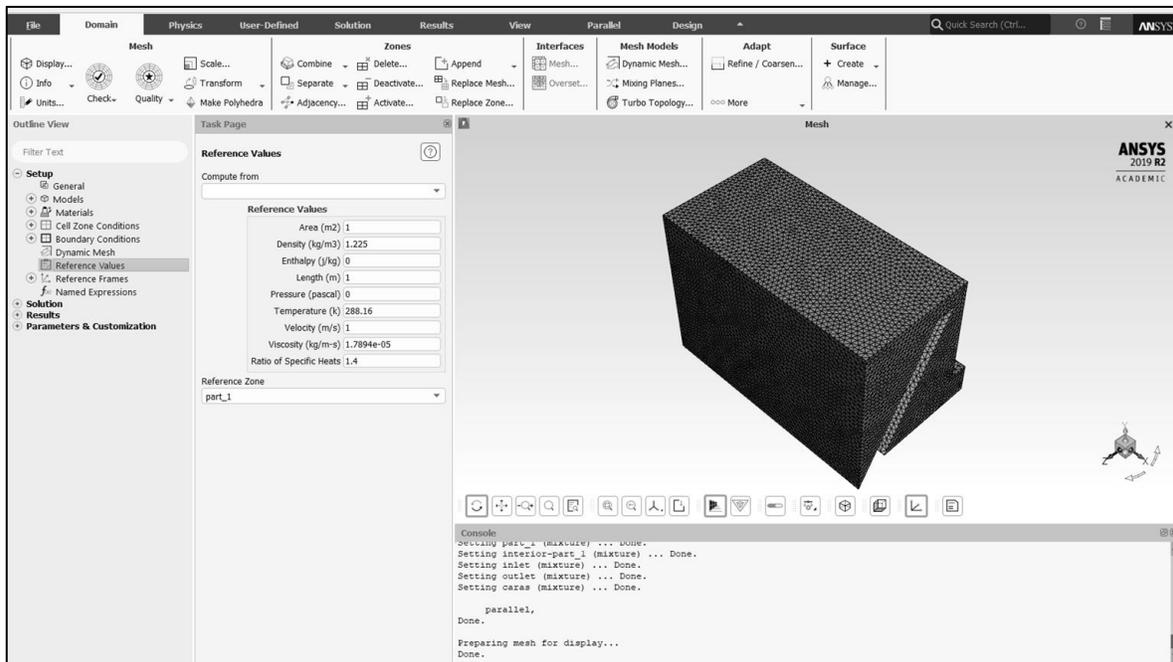
Imagen 49. "Outlet"¹⁶
Autoría propia.

¹⁵ Referente a que el fluido se conducirá hacia una zona en la que existe una presión, tal como la atmosférica, contra la que el fluido chocará.

¹⁶ Un dominio computacional es una región que representa el espacio y por donde pasará el fluido, por lo tanto, en la que se desarrollarán las condiciones de flujo del mismo, regidas por las leyes físicas (continuidad, energía y cantidad de movimiento) que se expresan como modelos matemáticos relativos a la región de estudio; es decir, es el volumen del fluido en el que se experimentará, en este caso: el aire.







Imágenes 50. "Proceso de asignación de condiciones de frontera"

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

· Configuración de cálculo en estado estacionario

Si un flujo tiene una solución estacionaria, esa solución suele ser más fácil de encontrar si se avanza en el tiempo; después que ha transcurrido tiempo suficiente, las variables de campo de flujo se establecen en sus valores de flujo estacionario¹⁷.

El cálculo se realizó en estado estacionario con la intención de evaluar los parámetros necesarios para fines de la investigación; en éste caso la captación y filtración de partículas.

¹⁷ Se alcanza ésta característica cuando las variables que lo componen no cambian en función de la cantidad de tiempo en la que transcurre el fenómeno.

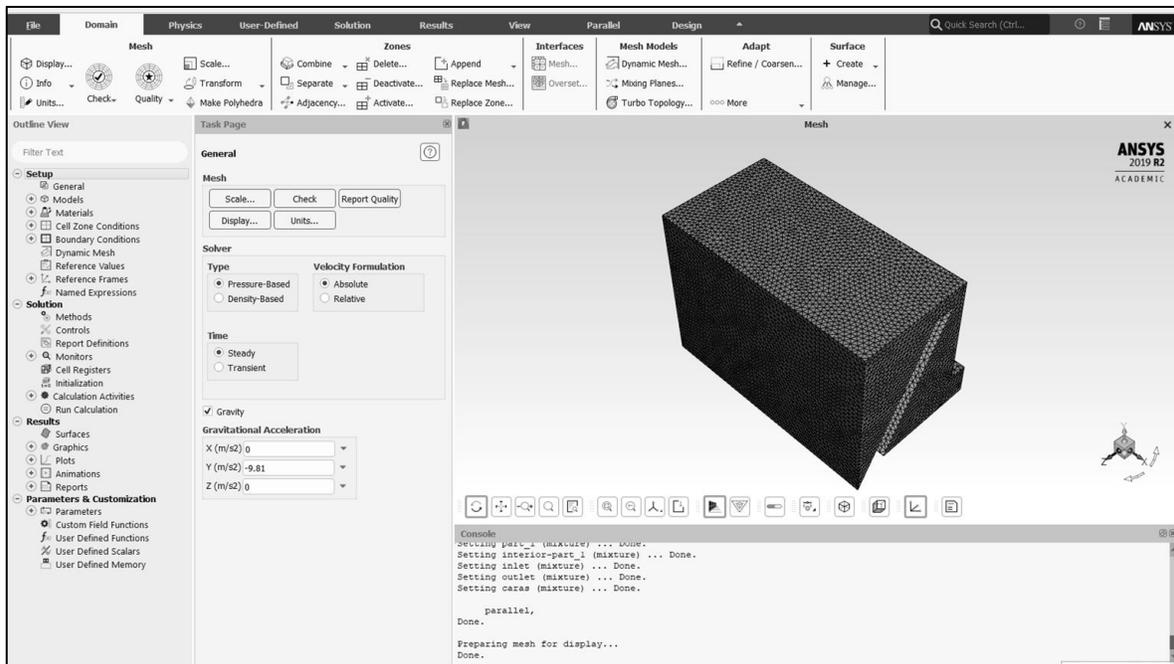


Imagen 51. "Estado estacionario"

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

Resultados

Solución

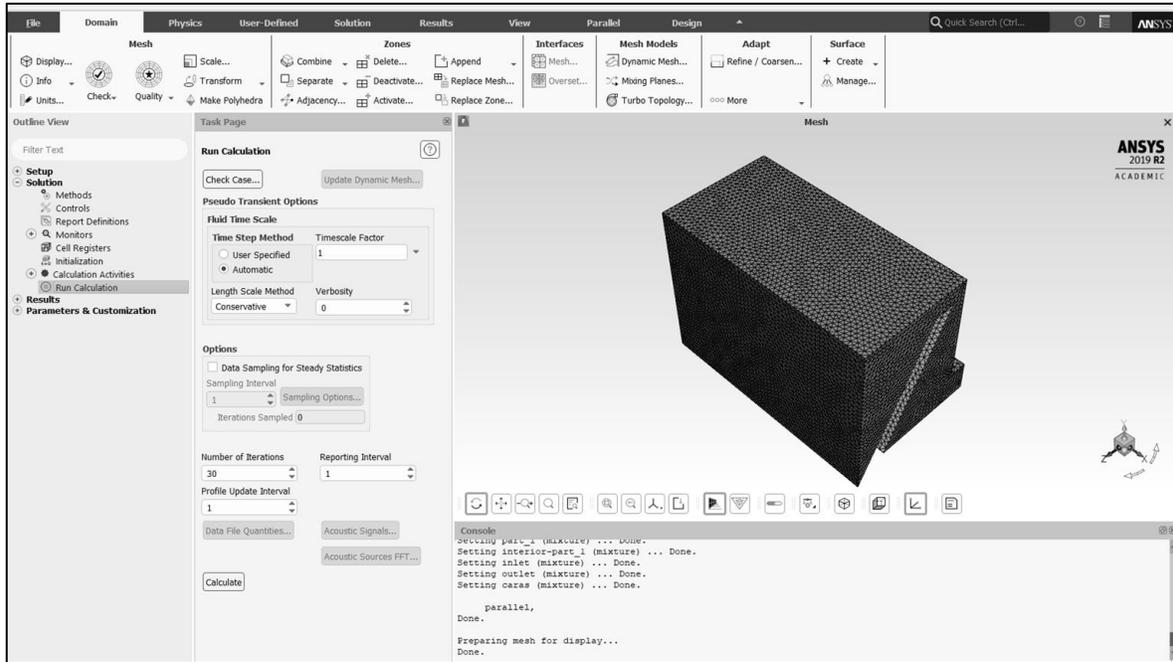


Imagen 52. “Malla y órdenes de cálculo para el modelo”

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

Velocidad del viento

En las siguientes gráficas se aprecia la velocidad del aire a través del dominio; a lo que se propuso una velocidad de entrada de 4m/s y se aprecia una velocidad de salida de entre 1 y 34 m/s¹⁸; se observa también que a lo largo del alabe se presenta el efecto de fricción mencionado anteriormente, mismo que se presenta por la reducción de velocidad a lo largo de esa cara, como tercer punto se observa la aceleración a lo largo de la cara posterior o de

¹⁸ Se expresa que las trayectorias de flujo, debido al efecto de Venturi, alcanzan velocidades de 12 a 34 m/s, dato derivado de una serie de efectos que se deben a la estrangulación derivada del cambio de sección en la parte superior del modelo y, finalmente, el hecho de que el área de la sección transversal de salida es menor a la de la entrada como un sistema con dimensiones diferentes, la velocidad es mayor en el lado de menor área y la velocidad es menor en el lado de mayor área.

estrangulamiento, ya que para esa zona se plantó la aplicación del principio de Venturi con el fin de generar una aceleración del viento y posteriormente, una desaceleración en el vano interior; finalmente, se observa la turbulencia ocasionada en esta zona como reductor de velocidad con dirección a la abertura de salida.

Si bien el cálculo del flujo del fluido puede experimentar errores naturales debido a que ANSYS Fluent genera una aproximación, hay razones por las que debe haber turbulencia a alta velocidad del fluido.

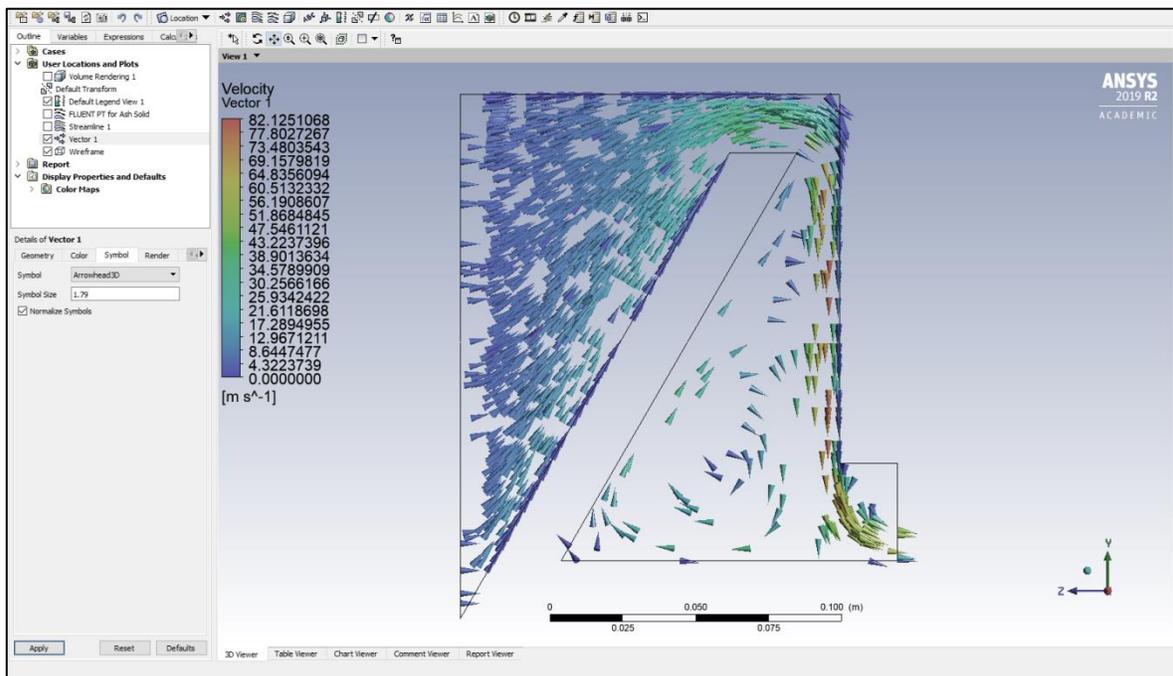
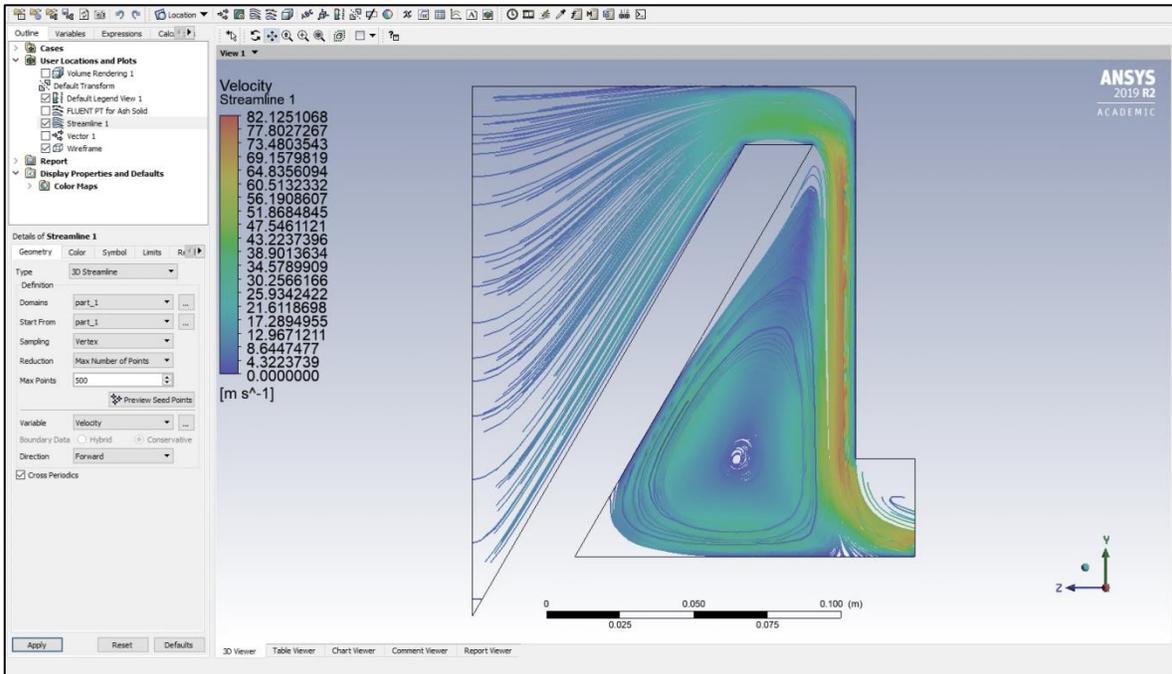
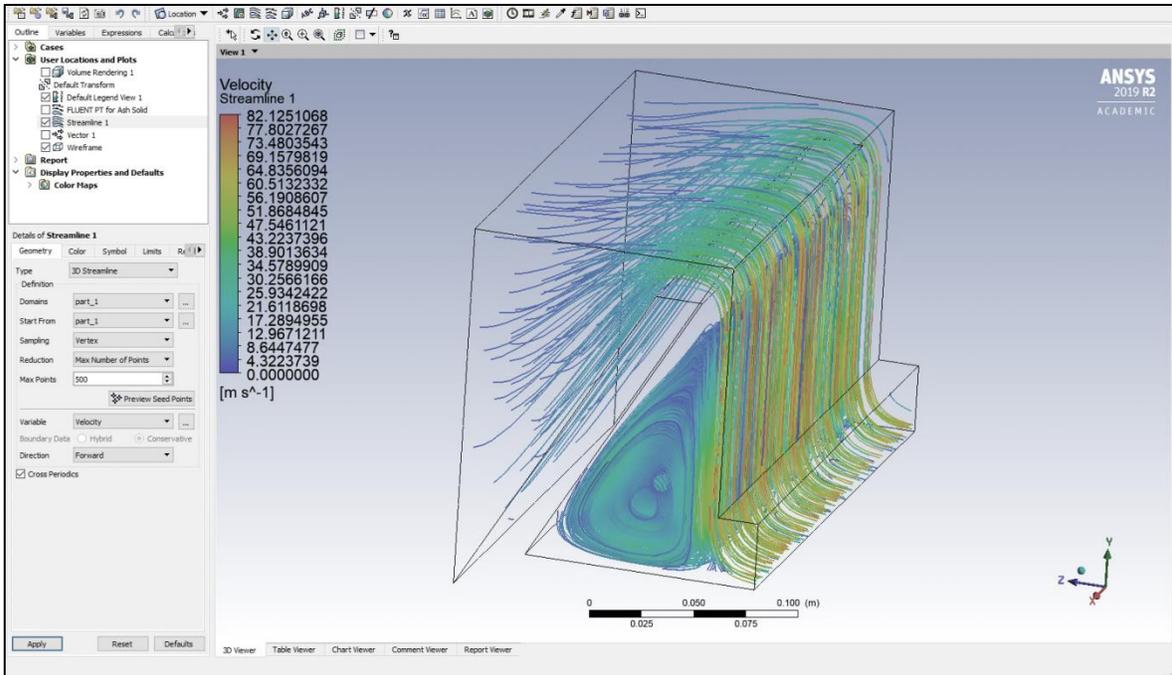


Imagen 53. “La velocidad del viento expresada en gráfica vectorial”

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.



Imágenes 54. “La velocidad del viento expresada en líneas de corriente”
 Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

· Concentración de partículas suspendidas PM₁₀

Como primer paso se consideró el diámetro aerodinámico de las partículas mencionado anteriormente:

$$10 \mu\text{m} = 10 \times 10^{-6} \text{ m} = 0.000001 \mu\text{m}$$

Se indicó la tasa de flujo de concentración de las partículas:

$$55.40 \mu\text{m}/\text{m}^3$$

Se consideraron los siguientes pesos y sus equivalencias:

$$1 \text{ gramo (g)} = 1,000,000 \text{ de } \mu\text{g}$$

$$1 \text{ kilogramo (kg)} = 1,000 \text{ g}$$

Materiales de diseño empleados en el análisis:

Material representante de la partícula PM₁₀ = ceniza

Material del dominio computacional = concreto

Fluido = aire

Name	air	Material Type	fluid
Chemical Formula		Fluent Fluid Materials	air
		Mixture	none
Properties			
Density (kg/m3)	constant		1.225
Viscosity (kg/m-s)	constant		1.7894e-05

Name	concreto	Material Type	solid
Chemical Formula		Fluent Solid Materials	concreto
		Mixture	none
Properties			
Density (kg/m3)	constant		2300

Name	Material Type
ash-solid	inert-particle
Chemical Formula	Fluent Inert Particle Materials
	ash-solid
	Mixture
	none
Properties	
Density (kg/m3)	constant
	600

Imagen 55. "Materiales de diseño; aire, concreto y ceniza"

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

Se tomó en cuenta el dato del volumen de aire de succión del muestreador de partículas para la posterior experimentación in situ.

$$V = 16 \text{ L/min}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1,000 \text{ litros (L)}$$

$$1 \text{ min} = 60 \text{ segundos (s)}$$

Cálculo para la obtención del dato de entrada de las partículas:

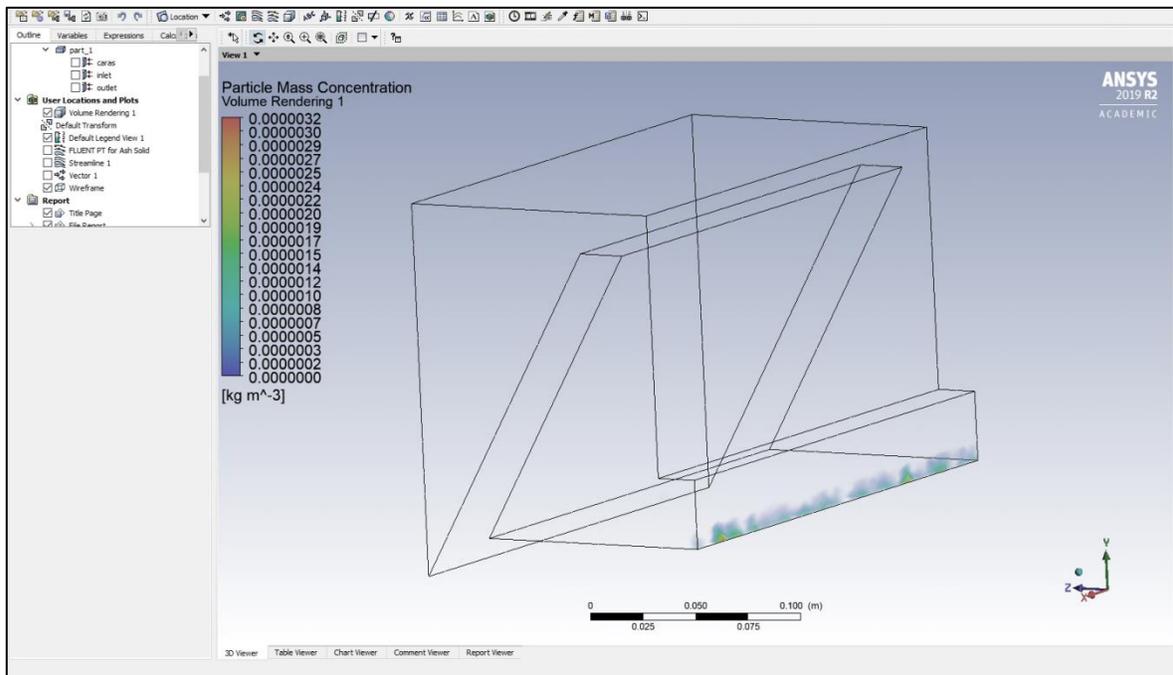
$$\text{Concentración (C)} = 55.40 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \left[\frac{1.00 \text{ g}}{1 \times 10^6 \mu\text{g}} \right] \left[\frac{1.00 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right] = 5.54 \times 10^{-8} \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Flujo volumétrico (V)} = 16.00 \frac{\text{l}}{\text{min}} \left[\frac{1.00 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \right] \left[\frac{1.00 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right] = 2.667 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

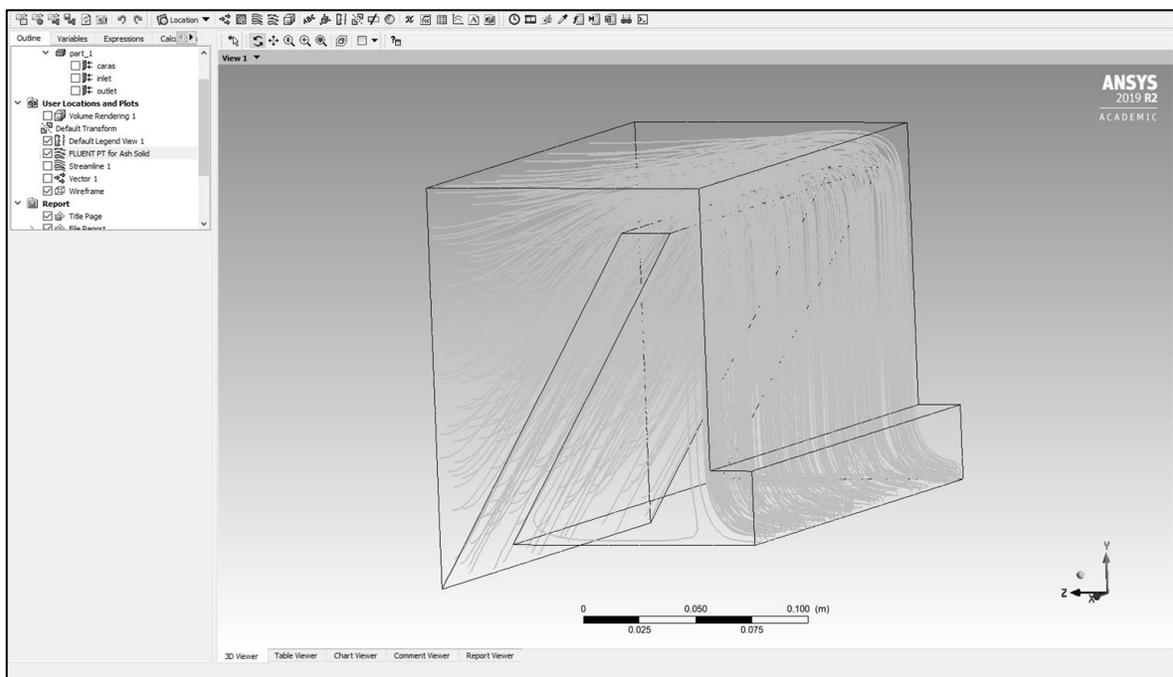
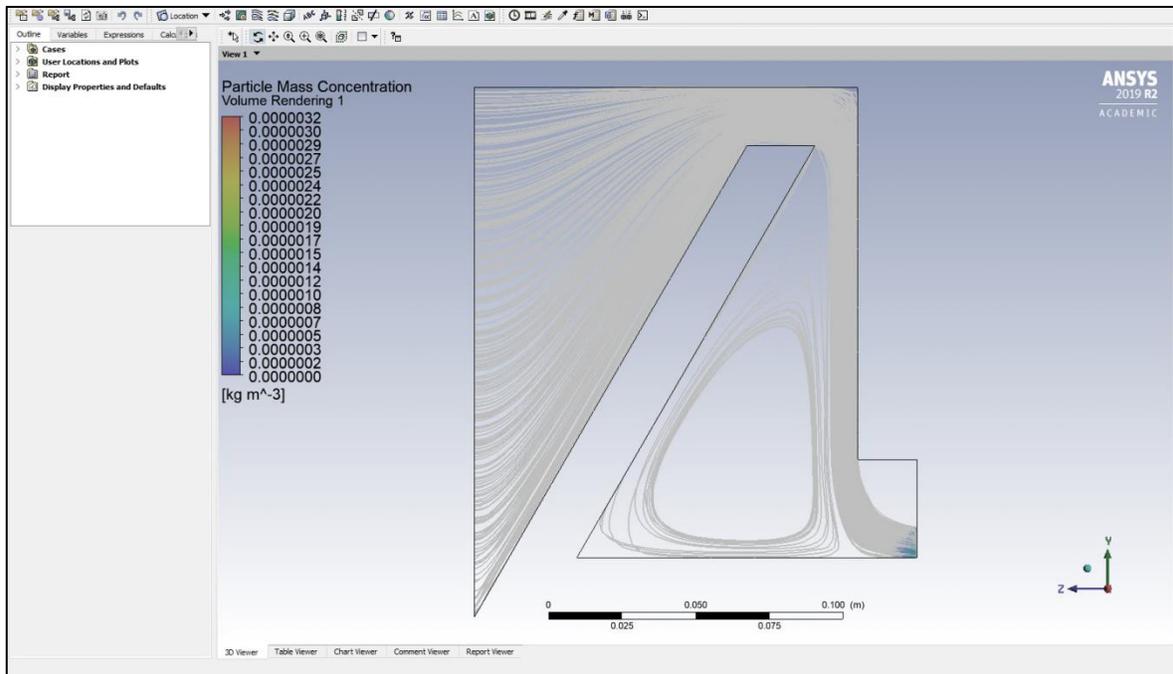
$$\left[\text{Concentración (C)} \right] \left[\text{Flujo volumétrico (V)} \right] = \text{Flujo másico de partículas (m Partículas)}$$

$$\left[5.54 \times 10^{-8} \text{ kg/m}^3 \right] \left[2.667 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \right] = 1.478 \times 10^{-11} \text{ kg/s}$$

En las siguientes imágenes se puede conocer el funcionamiento del captador: en la abertura de entrada es notable que al generar un ingreso oblicuo a través del asa de ventilación es factible la adhesión de las partículas a la cara que se encuentra a 56° de inclinación¹⁹, próximo a la abertura de salida se comienzan a precipitar algunas partículas suspendidas, lo demás, continúa como un flujo de aire limpio; además, en el vano interior se interpreta el efecto de turbulencia esperado debido a la aglomeración de las tres caras que persiguen éste fenómeno que tiene como fin la disminución de la velocidad del aire acelerado en la estrangulación de entrada y existe también una perceptible contención de partículas a la salida que oscila en aproximadamente 14 millonésimas/ m^3 .



¹⁹ Misma en la que se propone una capa vegetal; en este caso musgo o simplemente rugosidad por parte del concreto, para así promover con más fuerza el efecto de fricción deseado.



Imágenes 56. “Movimiento y concentración de partículas”

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

Propuesta de mejora

Posterior al análisis de la primer geometría se propuso la modificación de la pieza para obtener mejores resultados.

En esta nueva geometría se redondearon las aristas para reducir la resistencia al flujo del aire además de evitar la concentración excesiva de partículas suspendidas en ellas; por otro lado, la abertura de salida se elevó un poco a modo de crear un tope a la salida del aire pero no de las partículas creando una especie de captador.

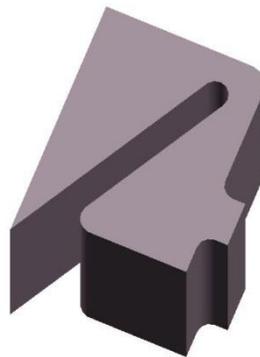
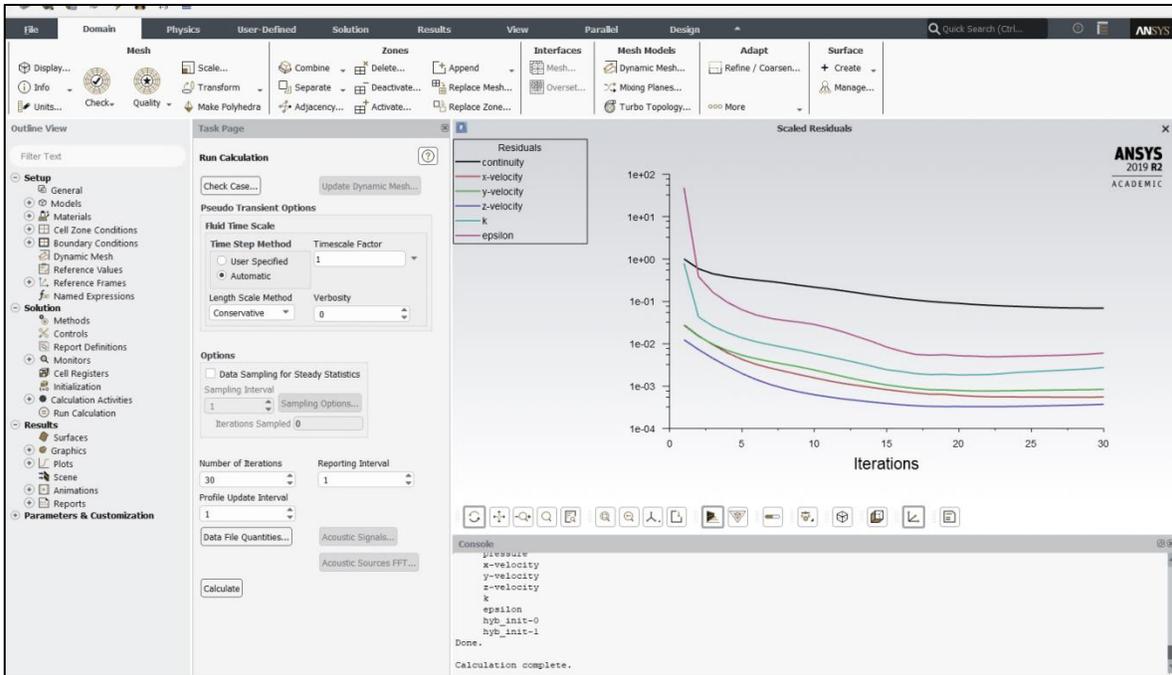


Imagen 57. "Propuesta de mejora del dominio computacional"

Autoría propia.

La gráfica de residuales ponderados de cálculo se genera posterior a contar con todos los parámetros necesarios para el cálculo matemático. Se compone de iteraciones y repeticiones de cálculo deseando un resultado cercano a 0, haciendo notar un cálculo con mayor exactitud y mejores resultados.



Gráfica 12. “Gráfica residual”

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

En las siguientes imágenes se muestra la velocidad del aire a través de la geometría. Se observa que se genera una aceleración el estrangulamiento, una notable desaceleración en la zona turbulenta generando una salida a baja presión.

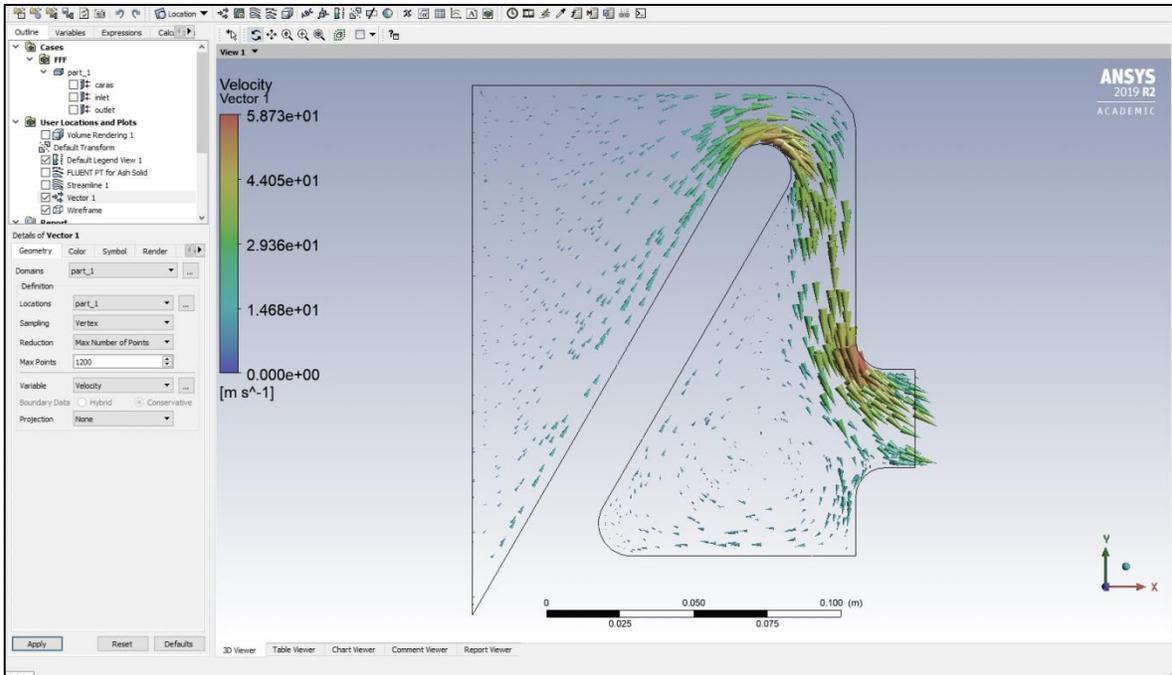
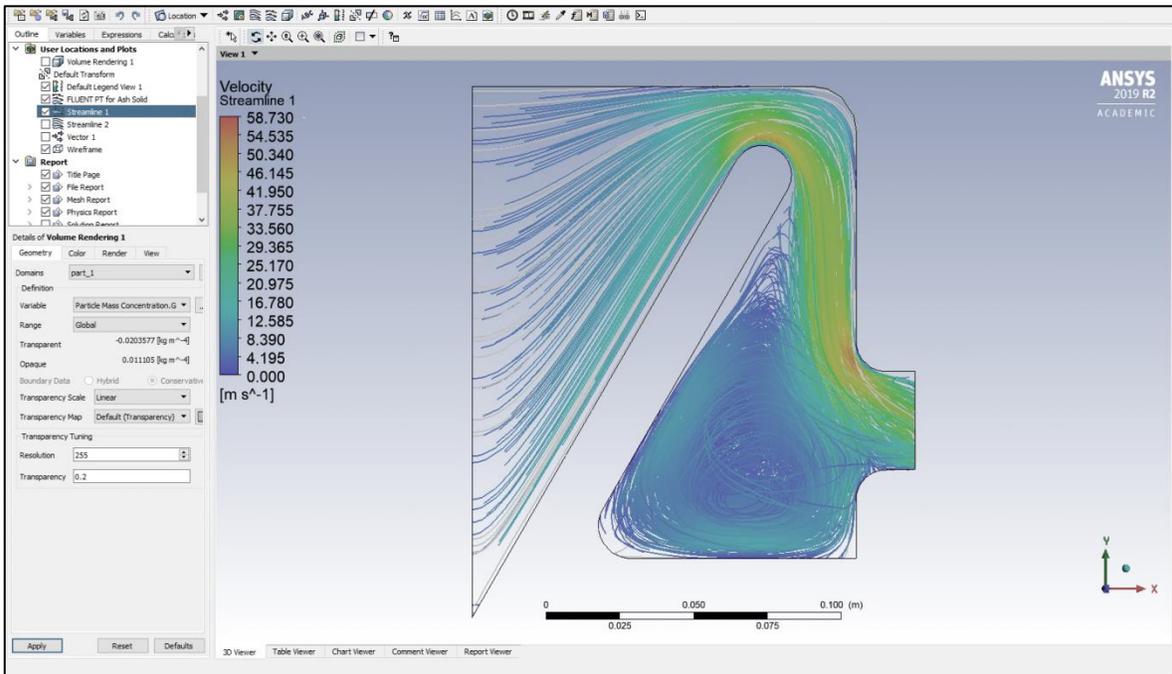
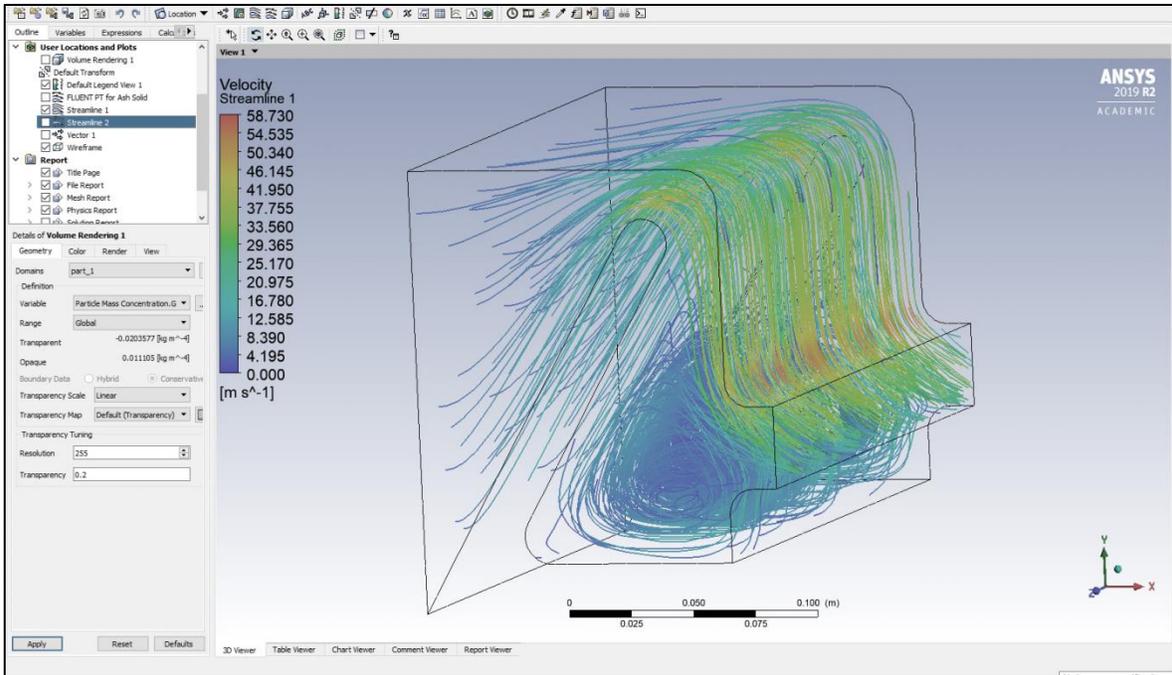


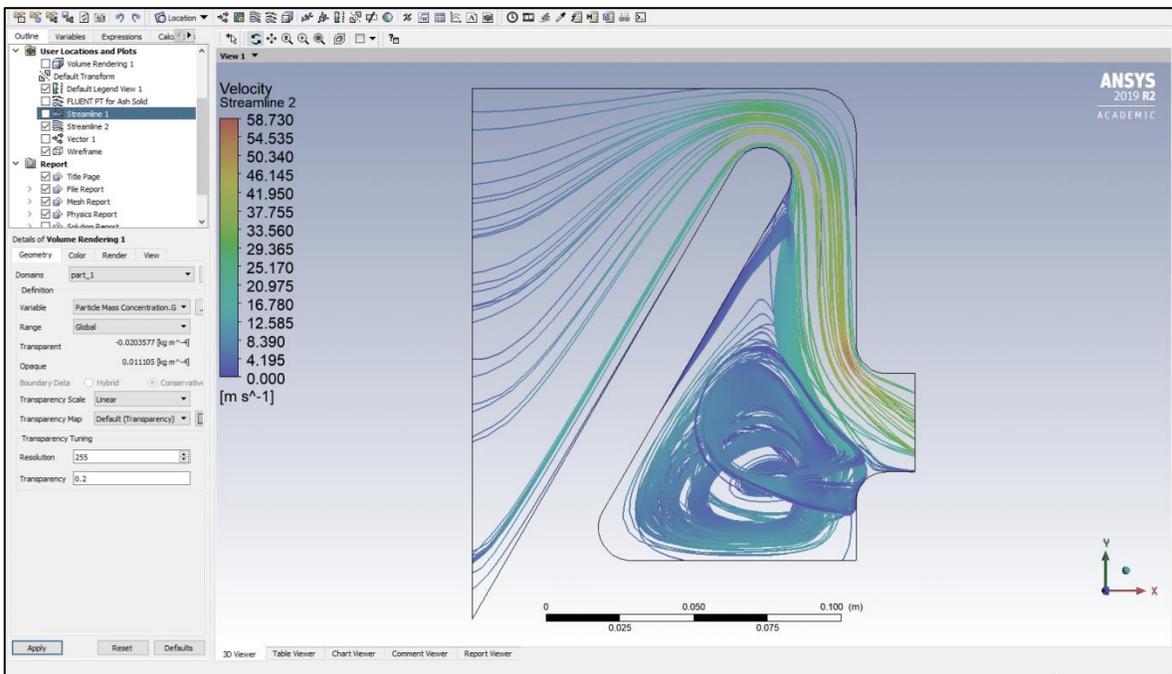
Imagen 58. “Velocidad del aire expresada en gráfica vectorial”

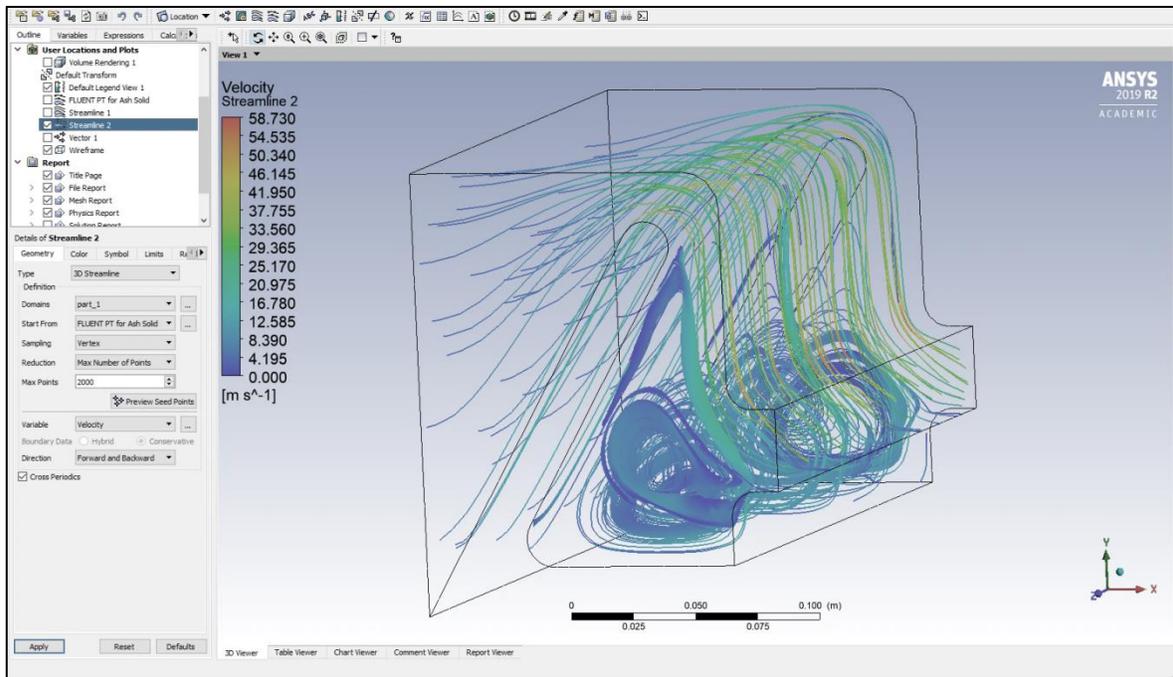
Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.





Imágenes 59. "Velocidad del aire expresada en líneas de corriente"
 Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.





Imágenes 60. “Velocidad de las partículas suspendidas PM_{10} ”

Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

En la siguiente imagen se observa el gradiente de concentración en kg/m^3 de las partículas en el Eje “Y”, y su cambio a través del paso por el dominio. Se obtuvieron datos negativos lo que indica desplazamiento o pérdida de partículas pero en baja proporción; el dato obtenido fue $-0.002 kg/m^3$, mismo que por la homogeneidad apreciada indica que las partículas al ser suspendidas cuentan con poca densidad y se concentran a lo largo del espacio, lo que significa que la unidad de filtrado está concentrando las partículas dentro de sí misma y la pérdida de partículas por lo que la cantidad de partículas que probablemente ingresarán al espacio ronda los $0.002 kg/m^3$.

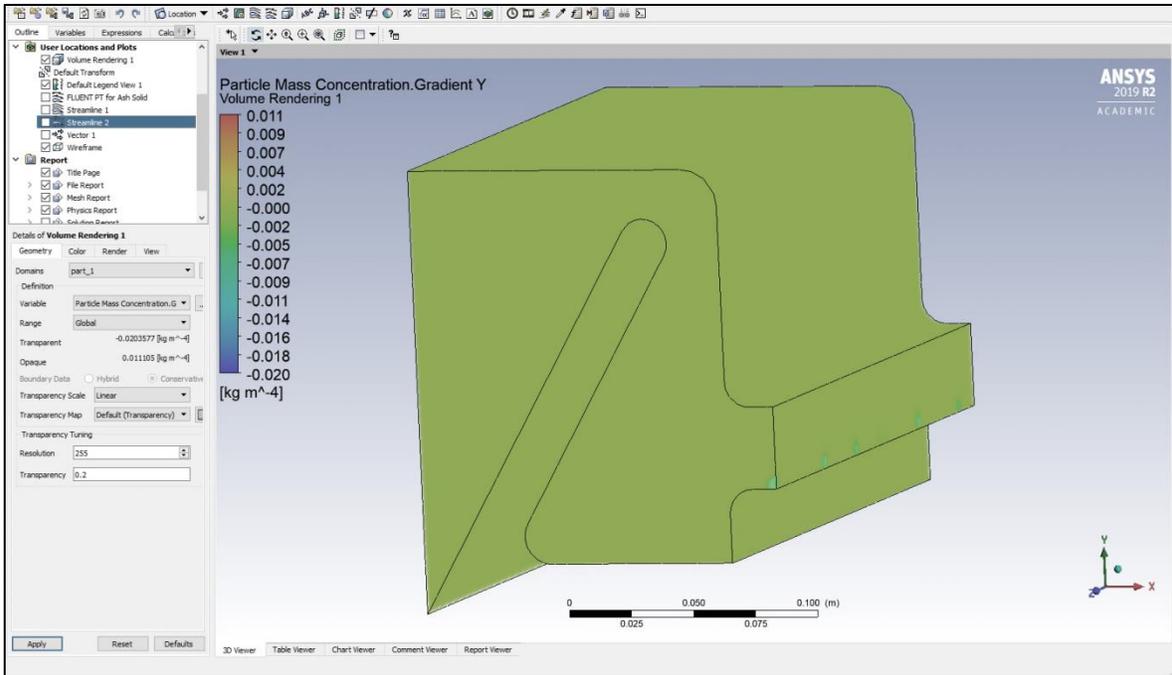


Imagen 61. “Gradiente de concentración de gravedad de las partículas suspendidas PM₁₀”
 Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

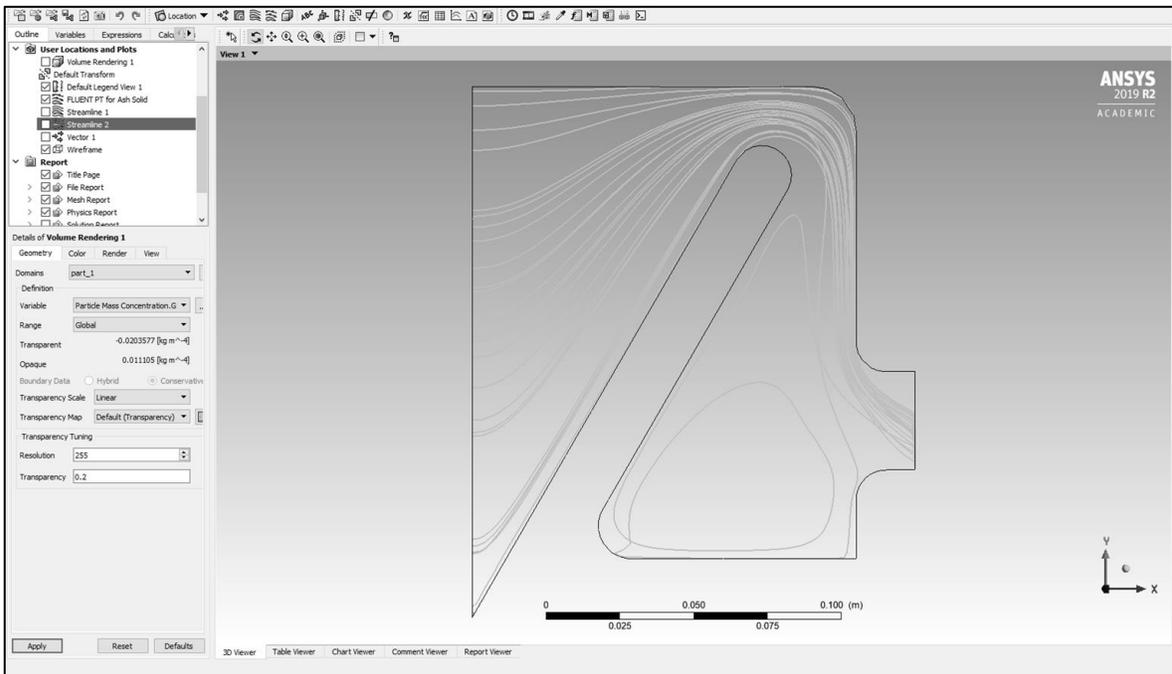


Imagen 62. “Trayectoria de partículas suspendidas PM₁₀”
 Autoría propia. Recuperada del análisis computacional del software ANSYS Fluent.

4.1.3 Moldería

Industrialización

A partir de la obtención del prototipo de estudio fue necesario considerar un criterio de industrialización de producto que como línea de investigación sería un aspecto esencial a tomar en consideración, proceso que generalmente incluye el prototipado, la verificación del diseño, la revisión, la validación del producto, moldes y utilitajes, diseño de embalajes, transportación, certificación y gestión de calidad²⁰.

Para fines del alcance de la investigación y de acuerdo a lo que se expone en la metodología de diseño mencionada a lo largo de la investigación solamente se consideraron los puntos mencionados anteriormente.

Impresión 3D

- Impresión 3D de modelo escala 1:10

Para lograr una mayor comprensión de la geometría de la pieza a elaborar fue conveniente hacer un modelo 3D y posteriormente la impresión del mismo.



Imagen 63. "Impresión 3D de modelo escala 1:10"

Autoría propia.

²⁰ Industrialización de productos, <http://www.linkinginnovations.es/servicios/industrializacion-de-productos>, fecha de consulta: 2019.

- Impresión 3D de encofrado escala 1:10

Del mismo modo para lograr una mayor comprensión de la geometría del encofrado se requirió la impresión del modelo 3D de éste.

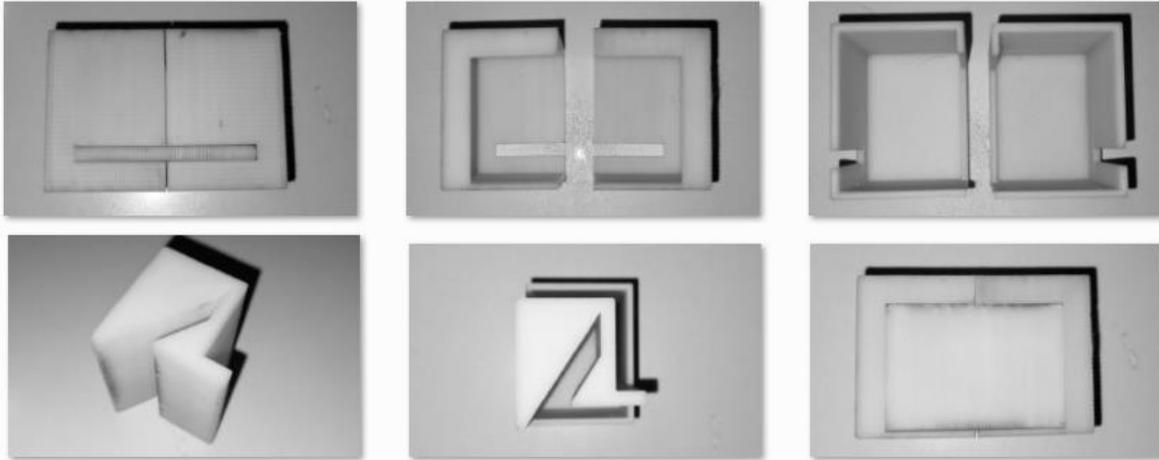


Imagen 64. "Impresión 3D de encofrado escala 1:10, compuesto de 3 piezas"

Autoría propia.

A partir de éste proceso y su análisis, el entendimiento para la obtención del molde fue mas sencillo.

Moldería

Se llevó a cabo un proceso de experimentación a partir de diversos moldes, para que a partir de éste proceso se eligiera el mas conveniente.

- Madera escala 1:1

Se elaboró un encofrado de madera de Triplay de 9 mm²¹ a lo que en ésta primer propuesta se comprendió la imposibilidad de un desmolde a razón de que las piezas que encofraban la parte interna se volvería inútil extraerlas posterior al colado.

²¹ Milímetros

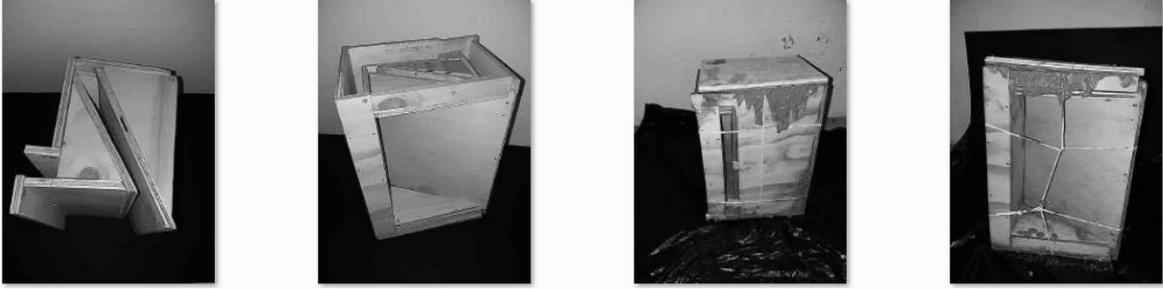


Imagen 65. "Molde de Triplay de 9 mm"
Autoría propia.

- Metálico retráctil escala 1:1

En la segunda propuesta se sugirió la posibilidad de hacer algunas caras retráctiles de lámina galvanizada calibre 16, con esto sería posible retirar el molde que queda en el vano interior a través del espacio posterior de la pieza, mediante ángulos rotatorios y bisagras.

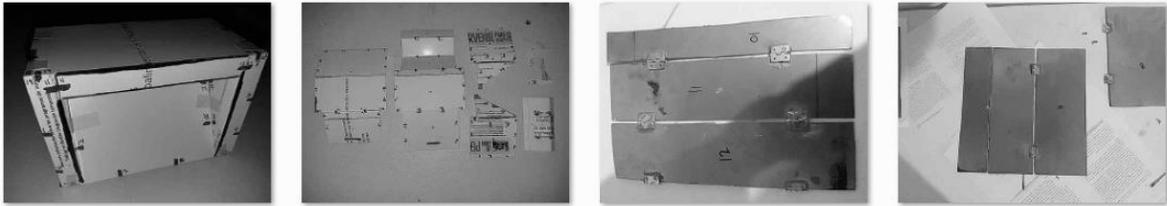


Imagen 66. "Molde retráctil"
Autoría propia.

- Yeso escala 1:1

En la tercer propuesta se fabricó un molde negativo en madera, el cual fue sumergido en yeso común tipo II líquido para su posterior fraguado. El endurecimiento de la pieza duraría varios días, por lo que el tiempo imposibilitaba el uso de ésta propuesta.

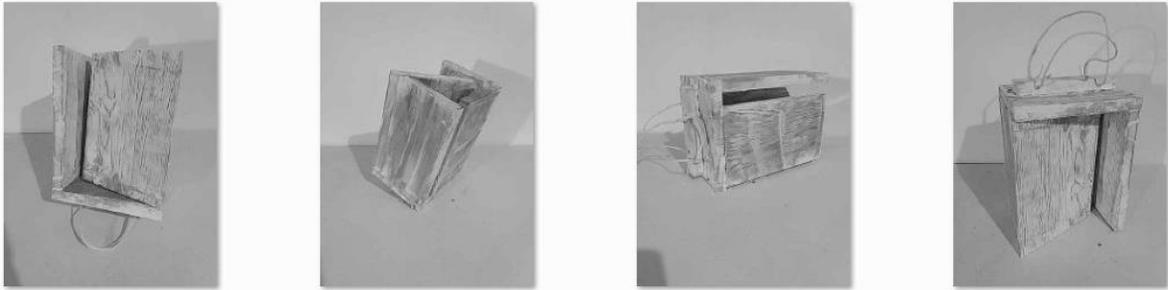


Imagen 67. “Molde de yeso común”
Autoría propia.

· Malla y yeso escala 1:1

En la cuarta propuesta se analizó la forma burdamente en escala real, el proceso que se llevó a cabo fue el de el uso de un recorte de la pieza en malla pollera a la que lentamente se le fueron adhiriendo capas de yeso común tipo II; en el proceso de fraguado se le dio la forma; prueba que quedó descartada ya que carecía de medidas requeridas y el acabado del material se encontraba distante a lo deseado.



Imagen 68. “Molde de malla pollera y yeso común”
Autoría propia.

· Cera y cartón escala 1:6

En la quinta propuesta se planteó la creación de un molde perdido. La fabricación de la pieza se llevó a cabo siguiendo los siguientes pasos:

1. Impresión 3D en escala 1:10 de dos encofrados de cartón, uno para el concreto y otro para el volumen de cera de abeja combinada con parafina.
2. Análisis de moldeado y desmolde.

3. Análisis del comportamiento de concreto en el futuro proceso de fraguado
4. Elaboración de ambos encofrados en cartón escala 1:6
5. Colado de cera en el primer encofrado y secado.
6. Inserción de volumen de cera al segundo encofrado
7. Elaboración de mezcla de concreto y vaciado.
8. Colado y fraguado de concreto.
9. Desmolde de la pieza.
10. Derretimiento de la cera del interior.

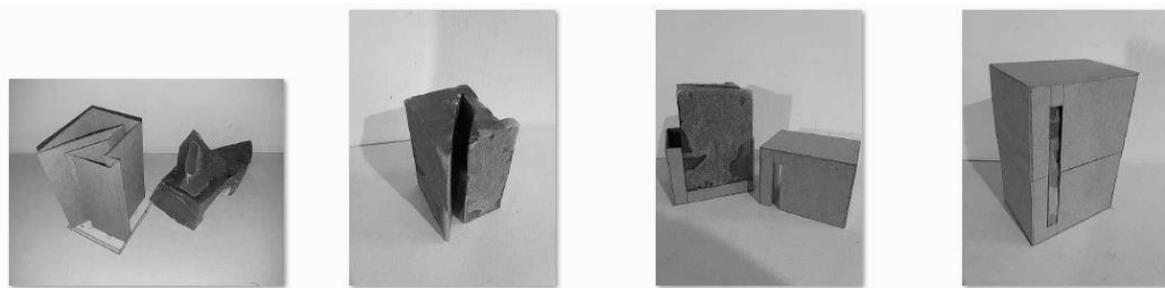


Imagen 69. "Molde de cera de abeja combinada con parafina y cartón"

Autoría propia.

- Cera, Triplay de 9mm y MDF de 6 mm escala 1:1

Finalmente, utilizando el reciente método se realizó el modelo a escala 1:1. Se obtuvieron 7 piezas de las cuales 1 de ellas se utilizó para un ensayo de compresión y con las restantes se realizaron pruebas de mediciones gravimétricas in situ.



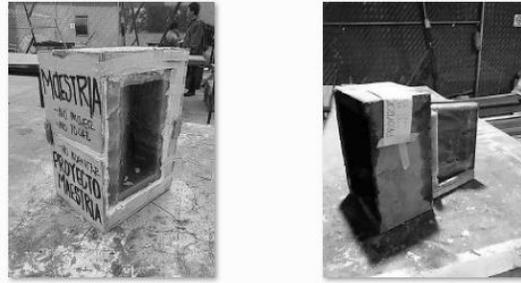


Imagen 70. "Molde de cera de abeja combinada con parafina, Triplay de 9 mm y MDF de 6 mm"

Autoría propia.

Prototipo

Requisitos durante el proceso de elaboración del molde	
	Pieza monolítica para conservar esfuerzos de compresión
	Desmolde poco invasivo
	Factibilidad en el moldeado
	Posibilidad de reutilizar tanto el encofrado de la cera como el del concreto
	Reutilización de la cera para cada uno de los moldes
	Obtención de 7 piezas
	Aspecto rugoso en la cara inclinada frontal
	Aspecto pulido en las caras restantes
	Implementación de la técnica de molde perdido
	Rapidez en su elaboración

Tabla 17. "Requisitos durante el proceso de elaboración del molde".

Autoría propia.

A partir de la eficacia técnica para fines de la investigación, fue posible obtener las piezas requeridas en el tiempo planteado. Gran parte de los requisitos establecidos se cumplieron salvo que se demostró la eficiencia del uso de la cera y el concreto pero con baja eficacia en un deseable proceso industrializado ya que los materiales invertidos, los tiempos y el proceso que se destinaría por pieza serían inauditos y no redituables para la industria de la construcción.

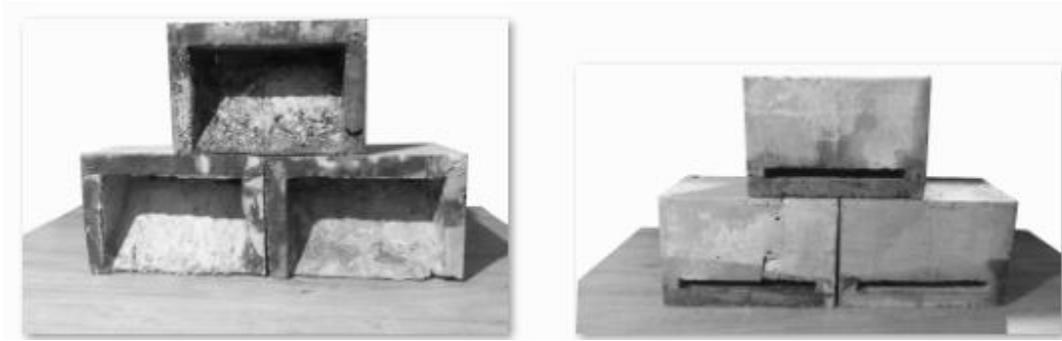


Imagen 71. "Resultados del proceso de moldería"

Autoría propia.

Propuesta de mejora

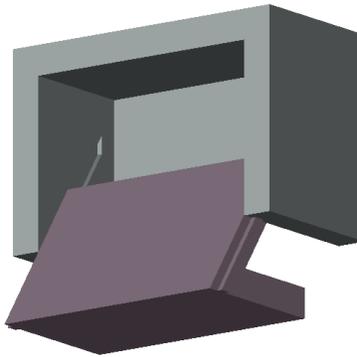


Imagen 72. "Propuesta de mejora para la conformación de la pieza"

Autoría propia.

Para concluir, se hace una propuesta de mejora en la conformación de la pieza; esto es que debido a las dificultades experimentadas a través del proceso y a pesar de que se eligió el molde óptimo para su realización, se determinó que puedan existir demás vertientes y opciones para mayor facilidad en su armado.

Invariablemente la obtención del modelo se inclinó a ser una pieza monolítica, esto se debió a que los esfuerzos de compresión deberían de desplazarse dentro de la misma conformación de la pieza, ya que si existían cortantes la estructura tendería a ser endeble.

Ahora bien, se propone la conformación de dicha celosía a partir de la unión de dos elementos; esto se lograría mediante rieles y conectores hembra-macho y con la intención de facilitar su integración y moldeado sin descuidar esfuerzos estructurales verticales.

4.1.4 Análisis del concreto como material compositivo

Elección del material

El concreto se establece como un material compuesto, básico en la industria de la edificación y fundamental en cualquier tipo de construcción; su importancia radica en su versatilidad, desempeño y factibilidad de su uso en diversas aplicaciones.

Entre sus propiedades cuenta con una capacidad de resistir gran variedad de condiciones de exposición extremas durante su vida útil, gracias a su alta durabilidad y resistencia es también un material local y de alta disponibilidad que puede ser fabricado en cualquier parte del mundo, lo que ayuda a optimizar los costos y reducir la huella de carbono. Sus propiedades estéticas permiten innovaciones arquitectónicas y flexibilidad en su diseño (Ceballos M., 2016, pág. 24)²², esto se convierte en el punto focal del por qué de su elección para ésta investigación.

Algunas de las características consideradas para que el concreto sea la opción ideal son:

1. Capacidad a la compresión en elementos delgados que no cuentan con ningún tipo de tensión estructural en su composición.
2. Manejabilidad.
3. Diseño de dosificación acorde a las necesidades.
4. Empleo en ambientes exteriores.
5. Maleabilidad y uso en geometrías complejas.
6. Celosías existentes fabricadas en concreto.

Dentro de la amplia gama de concretos comerciales y de investigación hay tres que fungieron como punto de referencia; el primero de ellos es el concreto permeable o poroso, que por la ausencia de finos en su composición es capaz de actuar como un material rugoso y que a su vez permite el paso del aire y la retención de sólidos.

²² Ceballos Arana Martín, Holcim México, El concreto, material fundamental para la infraestructura, 2016, México, pág. 24, párrafo 6, fecha de consulta: 2019.

Por otro lado, se encuentra el concreto biológico, el cual continúa en investigación y donde se pretende hacer un cambio en su pH,²³ de ácido a alcalino; como consecuencia se propicia el crecimiento de vegetación; de manera que sería posible contar con un concreto que sea capaz de lograr un efecto de purificación del aire y de regulación de temperaturas, a partir de la vegetación integrada en su composición.

Habiendo dicho lo anterior, el concreto es un material compuesto de partículas separadas en el cual, tanto los agregados como la matriz son materiales cerámicos; en el concreto, la arena y un agregado grueso se unen en una matriz de cemento Portland. En contraste, el mortero se hace mezclando cemento, agua, aire y un agregado fino; por lo tanto, el mortero contiene todos los ingredientes del concreto, menos los agregados gruesos. Un agregado es una combinación de grava, arena, piedra triturada o escoria (Askeland D. y Wright., 2017, pág. 667)²⁴. Por lo tanto, el mortero es la combinación elegida para la composición de la pieza que será estudiada en éste trabajo de investigación.

²³ Potencial de Hidrógeno. Es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una solución.

²⁴ Askeland Donald R., Wright Wendelin J., Cengage Learning, Ciencia e ingeniería de materiales séptima edición, 2017, México, pág. 667, fecha de consulta: 2019.

Características y requerimientos

Como resumen, a continuación se presentan las especificaciones de requerimientos para la elaboración del prototipo:

Características para la elaboración del prototipo	
Manejabilidad en su operatividad	
Resistencia al intemperismo	
Durabilidad	
Obtención de superficies pulidas y superficies rugosas	
Ausencia de armado estructural	
Estabilidad	
Soporte de elementos de 3 cms de espesor	
Alta trabajabilidad del concreto (diluído y fluido)	
Mezcla flexible y ligera en el vaciado al molde	

Tabla 18. "Características para la elaboración del prototipo".

Autoría propia.

Requerimientos para la elaboración del prototipo	
Resistencia	400 kg/cm ²
Peso	10 kg
Soporte	Peso propio
Uso	Mampostería para muros tapón
Vano	26 cms

Tabla 19. "Requerimientos para la elaboración del prototipo".

Autoría propia.

Diseño de concreto

Consiste en determinar la cantidad de agregados para obtener un concreto con las características ya mencionadas, como son, la manejabilidad, la resistencia o pureza, por lo que se requiere hacer pruebas mecánicas en el concreto endurecido.

Los materiales considerados fueron:

1. Cemento portland
 - Densidad aparente de 30 g/cm^3
 - Se propone el consumo de cementante dependiendo de la resistencia, o bien, de la relación agua-cemento.
 - Resistencia de 400 kg/m^3
 - Se propone una mayor resistencia para evitar fracturas a razón del espesor propuesto, a pesar de que es más usual el uso de concreto pobre en los bloques de concreto convencionales.

2. Agua

3. Aire
 - Se considera a partir de un porcentaje máximo de partícula.

4. Aditivo inclusor de aire EUCON AEA-92²⁵
 - Se propone para brindar mayor trabajabilidad para el vaciado y colado de la pieza prototipo.
 - Comportamiento como un fluido no newtoniano²⁶.
 - Se dosifica mediante la información de la ficha técnica: 7 cc^{27} por kg de cemento.

²⁵ Solución acuosa de químicos orgánicos sintéticos que está formulado para usarlo como un aditivo inclusor de aire para todo tipo de concreto.

²⁶ Un fluido Newtoniano es aquel en el que cumple que el esfuerzo de cizalla es proporcional a la velocidad de deformación, es decir, es aquel para el cual la viscosidad, a una temperatura y presión dadas, es constante para cualquier velocidad de deformación, independientemente del tiempo que se esté aplicando la cizalla.

²⁷ Centímetro cúbico.

- Se dosifica en función del cementante $1 \text{ cm}^3=1 \text{ ml}$.
5. Arena basáltica ó arena triturada de basalto
- Agregado de buena calidad que cumple con los límites granulométricos requeridos por la NMX-C-111.
 - Material recuperado de una asfaltera.

La notable ausencia de agregados gruesos se debió a la trabajabilidad deseada.

Diseño de concreto por m ³				
Materiales		Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento	28.978%	400.00	3150.00	0.1266980
Agua		140.00	1000.00	0.1400000
Aire		n/a	n/a	0.0200000
Aditivo inclusor de aire		2.828	1010.00	0.0028000
Arena basáltica	71.022%	1882.08	2650.00	0.7102200

Tabla 20. "Diseño de concreto por metro cúbico".

Autoría propia.

Cilindros de ensaye

Dosificación de materiales para pruebas de resistencia	
Material	Peso
Cemento	7.28 kg
Agua	2.54 L
Aire	n/a
Aditivo inclusor de aire	51.00 ml
Arena basáltica	34.26 kg

Tabla 21. "Dosificación de materiales para pruebas de resistencia y durabilidad de los 5 cilindros de ensaye".

Autoría propia.

Posterior a obtener el diseño del concreto se hicieron las conversiones requeridas para el colado de los cilindros de ensaye para:

1. 4 cilindros de 10 centímetros de diámetro para ensayos de compresión a los 3, 7, 21 y 28 días con el fin de evaluar y conocer la progresión y la obtención de la resistencia requerida.
2. 1 cilindro de 10 centímetros para el análisis de resistividad eléctrica para determinación de la durabilidad.



Imagen 73. "Material y herramienta"

Imagen 74. "Agregados"

Imagen 75. "Realización de mezcla"

Imagen 76. "Colado de cilindros de acero"

Autoría propia.

Tras 24 horas, los cinco cilindros se desencofraron, se pesaron y se sumergieron en agua para que de acuerdo a las normas "MMP Métodos de muestreo y prueba de materiales²⁸" y "CMT-2-02-005 Características de los materiales²⁹" se llevara a cabo un buen proceso de fraguado; tiempo que determinaría cada uno de los ensayos de compresión.

²⁸ Este manual describe los procedimientos para la obtención de muestras de concreto fresco a que se refiere la Norma N-CMT-2-02-005 Calidad del concreto hidráulico a fin de comprobar que cumplan con los requisitos de calidad descritos en dicha norma.

²⁹ Esta Norma contiene las características de calidad del concreto hidráulico que se utilice en la construcción de estructuras.



Imagen 77. “Desenfrado y pesado de cilindros”

Imagen 78. “Fraguado”

Autoría propia.

Ensayo para comprobación de resistencias a los 3, 7, 14 y 28 días

Las pruebas mecánicas de los ensayos de compresión se realizaron en la Máquina Universal del Laboratorio de Ingeniería Civil de la FES Aragon (L4); es un equipo electromecánico que permite la realización de ensayos estáticos convencionales de compresión, tracción y flexión desde temperatura ambiente hasta 1100 °C, con una capacidad máxima de carga de 10,000 kg (10 t) y software propio de gestión de ensayo y adquisición de datos³⁰.



Imagen 79. “Máquina Universal”

Autoría propia.

³⁰ Máquina universal de ensayos mecánicos, <https://www.upc.edu/sct/es/equip/519/maquina-universal-ensayos-mecanicos.html>, fecha de consulta: 2019.

Ensayos de compresión y obtención de resistencias					
Días	Peso (kg)	Esfuerzo (kg)	Volumen (cm ³)	Resistencia (kg/cm ²)	Progreso
3 días	3.39	17,810.00	78.54	226.76	57%
7 días	3.32	20,230.00	78.54	257.58	64%
14 días	3.35	25,400.00	78.54	323.40	81%
28 días	3.35	29,630.00	78.54	377.26	94%

Tabla 22. "Ensayos de compresión y obtención de resistencias³¹".

Autoría propia.



Imagen 80. "Resultado de ensayo de compresión a los 3, 7, 14 y 28 días"

Autoría propia.

Ensayo de pruebas de durabilidad

Las estructuras de concreto están expuestas durante su vida útil al ataque químico y físico de diferentes agentes. La durabilidad del concreto variará conforme tales agentes sean más o menos agresivos, y también de acuerdo con las propiedades de sus componentes, la composición de la mezcla y las condiciones de colado y curado que se hayan aplicado en su construcción.

La planeación y el diseño deberán no solamente estar basadas en el uso de la estructura, sino también en las condiciones ambientales y en la vida útil esperada de la misma es por esto, que se planeó realizar un ensayo de "resistividad eléctrica para determinación de la

³¹ La edad en la que el concreto adquiere su 100% de resistencia a la cual se diseñó aumentará de forma gradual, es decir, su crecimiento será más prolongado respecto al tiempo y adquirirá un 110% de su resistencia de diseño a los 96 días.

durabilidad”, a uno de los cilindros ensaye que consistiría en analizar que tan mayor es la resistividad eléctrica, y cuán menor es la porosidad del concreto; por tanto, se determinaría su impermeabilidad y resistencia mecánica al contener más fase sólida por volumen. Por otro lado, si el concreto no se encontrara saturado de agua, la resistividad crecería debido a que el concreto no posee propiedades conductivas. Sin embargo, dadas las condiciones por las que está atravesando México y el mundo; la pandemia por COVID-19³² no fue posible concluir ésta parte experimental de la investigación.

Colado de celosía escala 1:1

Dosificación de materiales para una celosía			
Materiales		Peso (kg)	Volumen (m3)
Cemento	28.978%	2.2226	0.00070
Agua		0.7779	0.00078
Aire		n/a	0.00011
Aditivo inclusor de aire		0.0157	0.00002
Arena basáltica	71.022%	10.4577	0.00395
		13.47	0.00556

Tabla 23. “Dosificación de materiales para una celosía”.

Autoría propia.

³² Enfermedad infecciosa causada por el virus SARS-CoV-2 descubierto en el año 2020.



Imagen 81. "Colado de la pieza"
Autoría propia.

4.1.5 El musgo como elemento auxiliar

Una alternativa en la vegetación

Las ventajas que la vegetación aporta a la Arquitectura son innumerables: control térmico, autorreparación, soporte estructural, integración paisajística, absorción de contaminantes específicos y CO₂, retención de polvos, integración en ecosistemas, autofabricación entre otros³³.

El empleo de vegetación tiene mucho potencial para:

- Interactuar con el ecosistema circundante.
- La elección de especies autóctonas es primordial.
- Filtración de agua y de aire
- Integración paisajística.
- Consumo mínimo de energía en la construcción.
- Regulación de la temperatura.

Se indagó ampliamente en el funcionamiento de especies vegetales, que de acuerdo a un análisis, se ha comprobado que contribuyen ampliamente para la retención de contaminantes atmosféricos, a lo que se seleccionó una especie de Briofita que por sus características físicas, geométricas y de integración al medio se convierte en una planta arquetipo en su innegable funcionamiento en la retención de partículas suspendidas PM₁₀ (Molina, Rogelio; 2017)³⁴.

³³ Arquitectura vegetal, <https://www.urbanarbolismo.es/blog/arquitectura-vegetal/>, fecha de consulta: 2019.

³⁴ Molina Torres Rogelio, Universidad Nacional Autónoma de México, Panel vegetal para el mejoramiento del aire en espacios interiores, 2017, Ciudad de México, fecha de consulta: 2019.

Análisis de la especie “Briofita”

· Definición

Los musgos pertenecen a una división de los briófitos, son un grupo de plantas sin vascularización, hojas verdaderas o raíces, que en la brecha evolutiva se encuentran antes de la aparición en la tierra de las plantas con tejidos vasculares menores, y después del dominio en los océanos de las algas verdes.

· Características

Los musgos representan esa crucial transición en la evolución de la vida y de las plantas de un hábitat totalmente de agua: ríos, mar, estuarios, lagunas, entre otros, al hábitat terrestre. Hasta el momento son unas 11.000 especies de musgos descritas alrededor del mundo³⁵.

Ocupan gran variedad de nichos (naturales o artificiales, desde el nivel del mar hasta los 4700 msnm) y sustratos (tierra, arboles, rocas, paredes, desagües), casi cualquier lugar con cierto grado de humedad, prefiriendo altitudes de entre los 1900 y 3800 msnm donde la humedad es mayor. Su ciclo reproductivo alcanza un tope máximo y la mano antrópica no ha degradado en cierta medida el ambiente, siendo estas especies resistentes a temporadas secas y a los cambios presentes en el ambiente.

Se forman en grandes extensiones de biomasa, en algunos casos en forma de alfombra o colchón, con una gran capacidad de retener agua a través de la capilaridad, capacidad que se extiende por toda la planta, en su superficie, en cada oportunidad de lluvia; esto es posible gracias a la ausencia de lignina en sus paredes celulares y que otorgan una gran permeabilidad de agua, en relación a las plantas que si poseen este compuesto celular y que las caracteriza por la formación de vasos y tejidos complejos³⁶.

³⁵ Musgos – Características, hábitat, reproducción y clasificación, <https://naturaleza.paradai-sphynx.com/plantas/musgos.htm#caracteristicas-de-los-musgos>, fecha de consulta: 2019.

³⁶ IBIDEM

· Hábitat

En cuanto a su hábitat, hay gran cantidad de especies de musgos, que tras la pérdida del mayor porcentaje de agua en sus células, logra en pocos minutos y poca demanda de agua revivir en largos periodos de desecación, como es el caso de aquellas especies que crecen en los desiertos y los ambientes más secos.

Para propiciar el crecimiento del musgo independiente a la superficie en la cual se desarrollará, se requieren algunas condicionantes además de asesoría horticultora; por ejemplo:

- Rocío de humedad constante.
- Impacto de viento moderado, siempre y cuando la planta no se fragmente.
- Incidencia de rayos solares indirectos o por poco tiempo.

A pesar de que las briofitas se desarrollan en ambientes húmedos y controlados, también es una planta muy fuerte, soporta las inclemencias del tiempo, vive un proceso de hibernación y es posible que se reproduzca en cualquier época del año.

Criterio

Para fines de lo requerido en la investigación se establecieron una serie de criterios a considerar para la elección del tipo ideal.

Criterios para la elección del tipo de briofita
Adaptable a condiciones ambientales
Capacidad de rebrote
Reproducción sobre cualquier tipo de superficie petrea
Reproducción hacia cualquier dirección y orientación
Color indefinido
Apariencia de alfombra
Apariencia rugosa
Consistencia húmeda
Capacidad de reproducción en cualquier época del año
Resistente

Tabla 24. "Criterios para la elección del tipo de briofita".

Autoría propia.

- Recolección de muestras

Se consideró el planteamiento de la zona de estudio como demarcación de búsqueda de las muestras a recolectar.

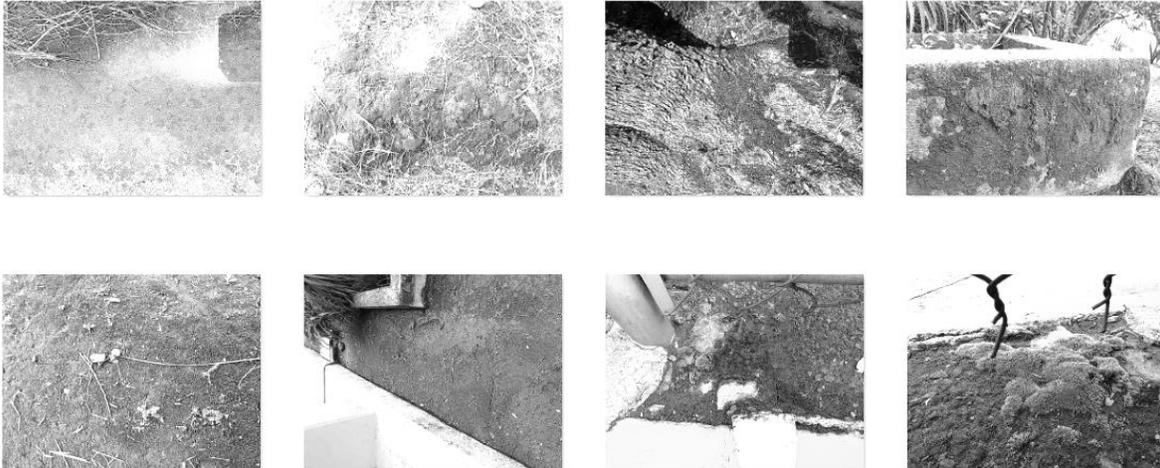
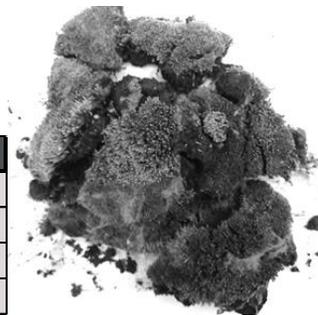


Imagen 82. "Muestras de musgos obtenidas en la FES Aragón"
Autoría propia.

- Análisis de muestras

En el área se encontraron diversos tipos de briofitas tales como:

Bryum Argentium
Se reproduce bajo superficies transitadas
Común
En reproducción genera esporofitos (esporas)
Color verde bandera con blanco



Diodymodon Revolutus
Crecimiento en ambientes muy secos
Crecimiento pequeño
Rebrote
Color verde limón



Funaria	
Abundante	
Crecimiento en sitios perturbados	

Syntrichia Fragilis	
Frágil	

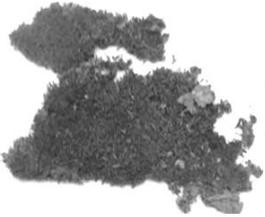
Pseudocrossidium Replicatum	
Reproducción en ambientes difíciles	
Tolerante a diversas condiciones de suelo o materiales	
Crecimiento en condiciones naturales	
Estructura filamentososa (telaraña)	
Crecimiento en sustratos con abundante calcio	

Imagen 83. "Nombre científico, características e imagen de las muestras recolectadas"
 Autoría propia.

Éste último, se consideró como el mas apropiado para su uso en el tema de investigación.

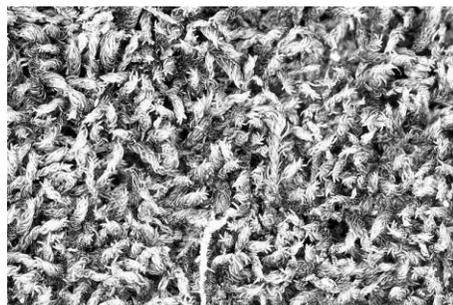


Imagen 84. "Pseudocrossidium Replicatum"
 Autoría propia.



Imagen 85. "Análisis de muestras"

Autoría propia.

Reproducción y desarrollo

Se realizó la prueba de crecimiento de musgo a partir de la mezcla de esporas con crema ácida (yogurth) en una licuadora y su aplicación sobre un bloque de concreto; en los lugares sombreados que se mantenían húmedos. El musgo creció en unos meses. Tal como lo realiza un arquitecto texano para dar apariencia de antigüedad y como lo mencionó la revista Garden Gate en el Artículo "Aging Outdoor Walls" en abril de 1996.



Imagen 86. "Muestra de Pseudocrossidium Replicatum"

Imagen 87. "Tabicón de concreto"

Imagen 88. "Compuesto ácido"

Imagen 89. "Mezclado"

Imagen 90. "Mezcla"

Imagen 91. "Empleo sobre superficie de tabicón de concreto"

Autoría propia.



Imagen 92. "Desarrollo de capa vegetal sobre superficie de concreto"

Autoría propia. Imagen obtenida de la Facultad de Arquitectura de Ciudad Universitaria UNAM.

Aplicación en la superficie

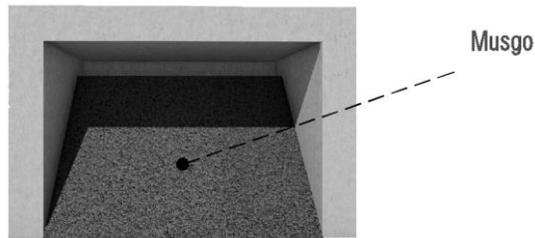


Imagen 93. "Aplicación en la superficie inclinada de la celosía"

Autoría propia.

Una vez conocidas las propiedades y características que tiene éste tipo de Briofita, así como las posibilidades de crecimiento en elementos pétreos; a fines de éste trabajo y en el momento en el que se ejecuta ésta etapa de la investigación se plantea como un elemento adicional auxiliar a la geometría con la que cuenta la pieza. Esto se debe a que el desarrollo y crecimiento de una capa vegetal de éste tipo a partir de un elemento de concreto, aún se encuentra en etapa de exploración por especialistas en el tema, es por ello, que se propone como una línea de investigación futura.

4.1.6 Muestreo y mediciones gravimétricas

Planteamiento

Para la última etapa de ésta investigación se realizaron las pruebas en el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, Sistema de Monitoreo Atmosférico Zona Norte, ubicado en la Colonia Magdalena de las Salinas, Alcaldía Gustavo A. Madero.

Se realizó una visita inicial para conocer el laboratorio, realizar el planteamiento de las pruebas y su finalidad, la programación de las actividades, el sitio de muestreo y el funcionamiento del equipo muestreador de partículas suspendidas.

Procedimiento

El análisis consistió en la realización de un muestreo de partículas suspendidas $PM_{2.5}$ con los equipos muestreadores de partículas ubicados en la azotea de éste laboratorio.

Se hicieron 3 pruebas en 3 diferentes días con 2 equipos muestreadores trabajando simultáneamente durante 24 horas como indica la norma “NOM-025-SSA1-2014”; es decir, al día se colocaron 2 equipos con características similares, uno de ellos con el muro de mampostería de celosía al frente y el otro equipo sin objeto alguno.

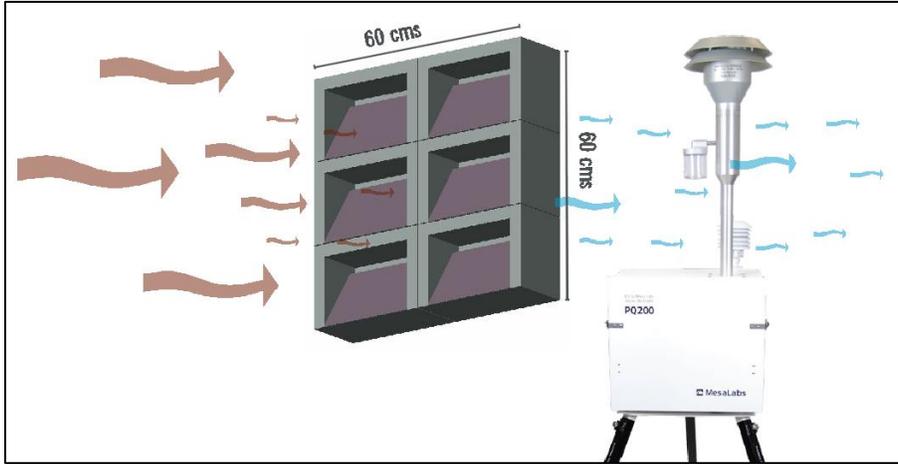


Diagrama 18. "Muestreo PM_{2.5} A"
 Autoría propia.

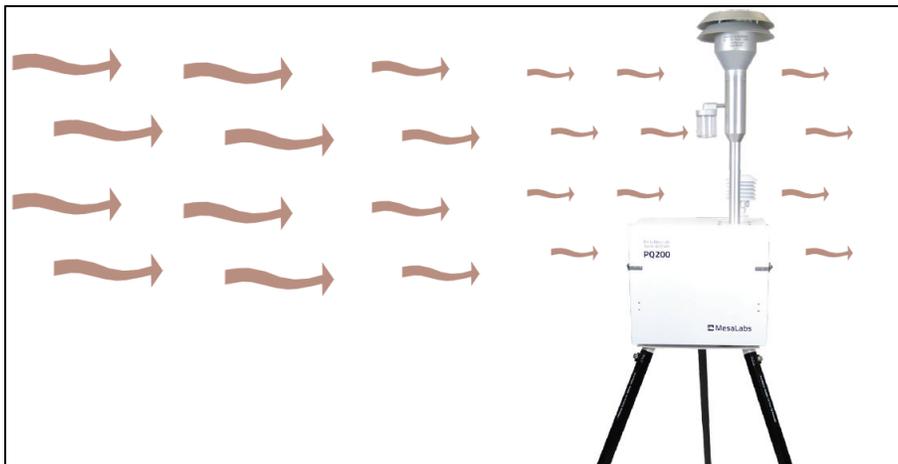


Diagrama 19. "Muestreo de PM_{2.5} B"
 Autoría propia.

El objetivo de éste muestreo consiste en demostrar el funcionamiento de la pieza de celosía en 3 diferentes días de la semana, es decir, medir la eficiencia de retención de partículas.

Los días de muestreo fueron los días: martes 20, jueves 22 y martes 27 de Octubre de 2020.

Equipo muestreador de partículas suspendidas BGI PQ200

El muestreador PQ200 FRM de BGI incorpora tecnología pionera de BGI para satisfacer y superar los requisitos del muestreo de partículas recomendado por la Agencia de Protección Ambiental estadounidense. Esto incluye el diseño de entradas PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 , control de velocidad de flujo de muestra volumétrico, registro de datos y software para el informe y procesamiento de datos.³⁷



Imagen 94. "Equipo muestreador de partículas BGI PQ200"

Autoría propia.

Filtros de teflón

Durante los muestreos se utilizaron filtros de teflón, mismos elementos que se colocan en el equipo muestreador de partículas y que realizan un efecto de contención de las partículas succionadas durante las 24 horas del día en prueba. En la imagen (Imagen 95) se observa

³⁷ Muestreador de partículas suspendidas de aire ambiente PQ200, <https://bgi.mesalabs.com/muestreador-de-particulado-de-aire-ambiente-pq200/?lang=es>, fecha de consulta: 2020.

las diferentes saturaciones por partículas suspendidas que hubo en cada uno de los días de las pruebas.

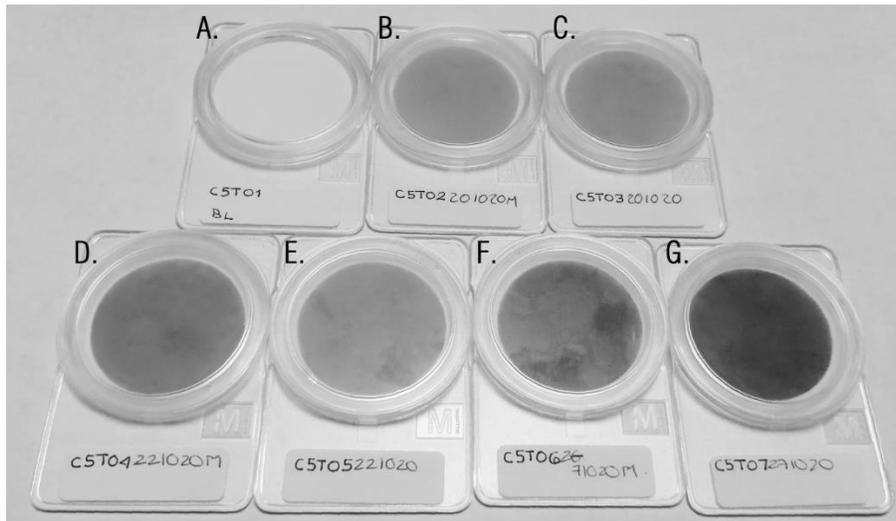


Imagen 95. Resultados obtenidos de la muestra gravimétrica.

A. Filtro de teflón limpio.

B. Filtro de teflón del muestreo con la celosía del día martes 20 de octubre 2020

C. Filtro de teflón del muestreo sin la celosía del día martes 20 de octubre 2020

D. Filtro de teflón del muestreo con la celosía del día jueves 22 de octubre 2020

E. Filtro de teflón del muestreo sin la celosía del día jueves 22 de octubre 2020

F. Filtro de teflón del muestreo con la celosía del día martes 27 de octubre 2020

G. Filtro de teflón del muestreo sin la celosía del día martes 27 de octubre 2020

Autoría propia.

Pruebas

En la primer imagen se muestra la cantidad de piezas que se colocaron para los muestreos (Imagen. 96). En las imágenes 97 y 98 se observa la colocación tal como un muro de mampostería además orientando la parte frontal hacia la predominancia de flujo de vientos, en éste caso; hacia la orientación Norte (Imagen. 98). En las imágenes 99 y 100 se observa el montaje de un soporte metálico frente a uno de los equipos muestreadores donde se efectuará la prueba con el muro de mampostería en parte frontal, por lo que se observa que los biofiltros se encuentran a la misma altura en la que el equipo efectúa la succión del aire a su alrededor; para esto se tomó en cuenta que el bastidor metálico no presentara mayores

obstrucciones que las necesarias. La altura a la que se colocan los biofiltros fue de 1.60 metros al lecho inferior de la mampostería. La separación de los biofiltros al elemento de succión del muestreador es de 1 metro de distancia (Imagen. 99 y 100). La imagen 101 muestra los refrigeradores donde se conservan los filtros posterior al análisis in situ (Imagen. 101). La imagen 102 es del interior del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA, lugar donde se efectuó el análisis gravimétrico de cada uno de los 6 filtros y la interpretación de datos (Imagen. 102). Finalmente en le imagen 103 se muestra el equipo muestreador de partículas suspendidas abierto, en su parte interna se colocan y retiran los filtros además de que se realiza la programación en cada una de las pruebas requeridas (Imagen. 103).



Imagen 96. "Biofiltros de concreto"

Imagen 97. "Mampostería de celosías"

Imagen 98. "Piezas ubicadas hacia vientos dominantes del sitio"

Imagen 99. "Montaje A vista frontal"

Imagen 100. "Montaje A vista posterior"

Imagen 101. "Refrigeradores para conservar los filtros"

Imagen 102. "Laboratorio de Análisis Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, Sistema de Monitoreo Atmosférico Zona Norte"

Imagen 103. "Equipo muestreador de partículas vista interna"

Autoría propia.

Datos meteorológicos

martes, 20 de octubre de 2020					jueves, 22 de octubre de 2020					martes, 27 de octubre de 2020				
HR	WSP (m/s)	WDR (Grados)	TMP (°C)	RH (%)	HR	WSP (m/s)	WDR (Grados)	TMP (°C)	RH (%)	HR	WSP (m/s)	WDR (Grados)	TMP (°C)	RH (%)
00:00	7.4	330	15.2	72	00:00	6.9	322	15.6	68	00:00	2.1	266	16.3	42
01:00	6	325	14.7	75	01:00	4.9	314	15	71	01:00	0.9	258	15	49
02:00	5.9	320	14.5	78	02:00	3.9	314	14.3	78	02:00	0.8	249	13.9	52
03:00	6.3	322	14.4	79	03:00	4.2	317	13.6	84	03:00	1.2	317	13.6	52
04:00	5	319	14.5	79	04:00	3.3	312	13.1	85	04:00	1.1	276	12.5	55
05:00	5.2	322	14.5	79	05:00	1.6	293	12.6	86	05:00	1.2	207	12	57
06:00	5	332	14.4	79	06:00	1.8	278	12.3	86	06:00	0.9	344	11.7	60
07:00	3.1	344	14.1	80	07:00	1.5	168	11.8	87	07:00	1.4	321	11.9	61
08:00	2.5	308	13.9	81	08:00	2.5	122	12.2	85	08:00	1.6	261	12.8	55
09:00	2.9	351	14.7	78	09:00	2.2	159	13.5	81	09:00	1.6	101	15	47
10:00	2.5	349	16	72	10:00	2.6	93	15.6	72	10:00	2.6	341	17.5	41
11:00	3.3	1	17.9	62	11:00	3.2	359	18.4	54	11:00	2.8	306	20.1	37
12:00	3.9	349	19.9	50	12:00	2.9	351	21.2	37	12:00	2.8	167	22.1	30
13:00	4.6	323	21.9	43	13:00	8	343	23.9	21	13:00	3.5	43	23.8	22
14:00	4.3	336	22.7	38	14:00	7.6	340	24.7	19	14:00	3.6	92	24.8	19
15:00	4.8	254	24.1	32	15:00	8.9	339	25.2	21	15:00	3.8	252	25.8	21
16:00	5.5	349	24.5	32	16:00	10	335	25	20	16:00	3.3	210	26.1	22
17:00	7.3	332	24.6	33	17:00	7.6	348	24.6	22	17:00	3.8	148	25.4	27
18:00	9.1	358	23.5	38	18:00	8.4	346	23.4	26	18:00	6.6	131	23	43
19:00	7.6	19	21.7	44	19:00	5.9	341	22.1	28	19:00	5.2	130	21.1	53
20:00	6.6	31	19.9	51	20:00	5.9	353	20.9	30	20:00	3.6	107	20.2	57
21:00	4.5	11	18.9	55	21:00	3.9	339	19.7	32	21:00	4.5	90	18.9	61
22:00	5.6	335	18.2	58	22:00	4.1	311	18.6	36	22:00	2.8	101	18	65
23:00	8.3	331	16.7	66	23:00	2.9	293	17.3	38	23:00	1.5	65	17.4	69

Tabla 25. "Datos meteorológicos"³⁸.

Autoría propia. Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA

³⁸ HR: Hora, WSP: Velocidad del viento, WDR: Grados meteorológicos (0° corresponden al Norte), TMP: Temperatura y RH: Humedad relativa

Resultados

Resultados de muestreo de $PM_{2.5}$ con filtro de teflón sin celosía:

Datos Generales				
No.	Fecha	Filtro	Tipo	Estatus
1	20/10/2020	C5T03 201020	Normal	ok
2	22/10/2020	C5T05 221020	Normal	ok
3	27/10/2020	C5T07 271020	Normal	ok

Tabla 26. "Datos generales de muestreo sin celosía".

Autoría propia. Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA

Datos del Muestreo en Campo																
No.	P act	T Amb	T F	ET	TV	Q	U (prom)	CV	Tmax	Tmin	Tprom	Pmax	Pmin	Pprom	En obs	inv
1	585	15.7	14.3	24	24.03	16.7	16.7	0.46	27.20	13.8	19.4	586.0	582	584	no	no
2	587	23.8	25.1	24	24.03	16.7	16.7	0.46	27.3	11.5	19.0	586	583	584	no	no
3	586	17.6	18.0	24	24.03	16.7	16.7	0.47	24.3	11.3	19.2	585	581	582	no	no

Tabla 27. "Datos del muestreo en campo sin celosía".

Autoría propia. Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA

Datos de Laboratorio		
Filtro	Peso i	Peso f
C5T03	140.122	140.468
C5T05	139.980	140.440
C5T07	141.151	141.703

Tabla 28. "Datos de laboratorio sin celosía".

Autoría propia. Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA

Concentración	Fecha
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Sin celosía	
14	20/10/2020
19	22/10/2020
23	27/10/2020

Tabla 29. "Concentración gravimétrica sin celosía".

Autoría propia. Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA

Resultados de muestreo de PM_{2.5} con filtro de teflón con celosía:

Datos Generales				
No.	Fecha	Filtro	Tipo	Estatus
1	20/10/2020	C5T02 201020 M	Normal	ok
2	22/10/2020	C5T04 221020 M	Normal	ok
3	27/10/2020	C5T06 271020 M	Normal	ok

Tabla 30. "Datos generales de muestreo con celosía".

Autoría propia. Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA

Datos del Muestreo en Campo																
No.	P act	T Amb	T F	ET	TV	Q	Q (prom)	CV	Tmax	Tmin	Tprom	Pmax	Pmin	Pprom	En obs	inv
1	586	15.2	14.4	24	24.03	16.7	16.7	0.49	27.40	13.3	18.7	586.0	582	584	no	no
2	587	22.6	24.8	24	24.03	16.7	16.7	0.48	27.1	10.9	18.6	586	583	584	no	no
3	585	17.8	18.4	24	24.03	16.7	16.7	0.50	29.0	10.8	18.8	585	581	582	no	no

Tabla 31. "Datos del muestreo en campo con celosía".

Autoría propia. Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA

Datos de Laboratorio		
Filtro	Peso i	Peso f
C5T02	135.336	135.688
C5T04	140.311	140.737
C5T06	140.725	141.268

Tabla 32. "Datos de laboratorio con celosía".

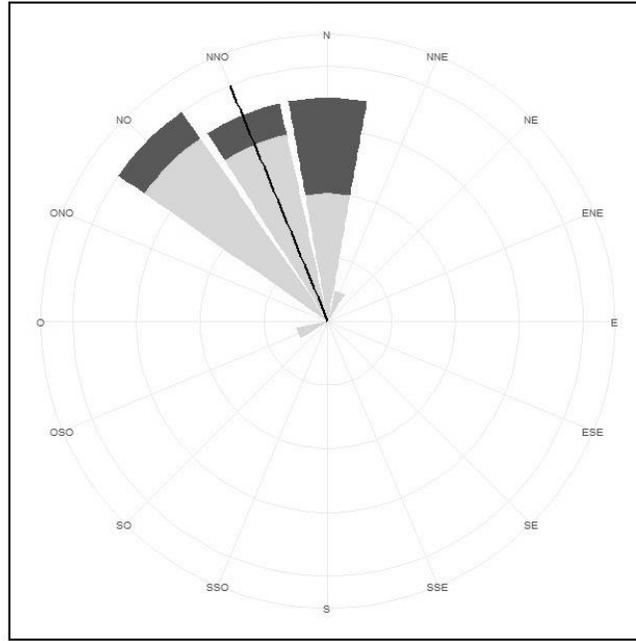
Autoría propia. Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA

Concentración	Fecha
µg/m ³	
Con celosía	
15	20/10/2020
18	22/10/2020
23	27/10/2020

Tabla 33. "Concentración gravimétrica con celosía".

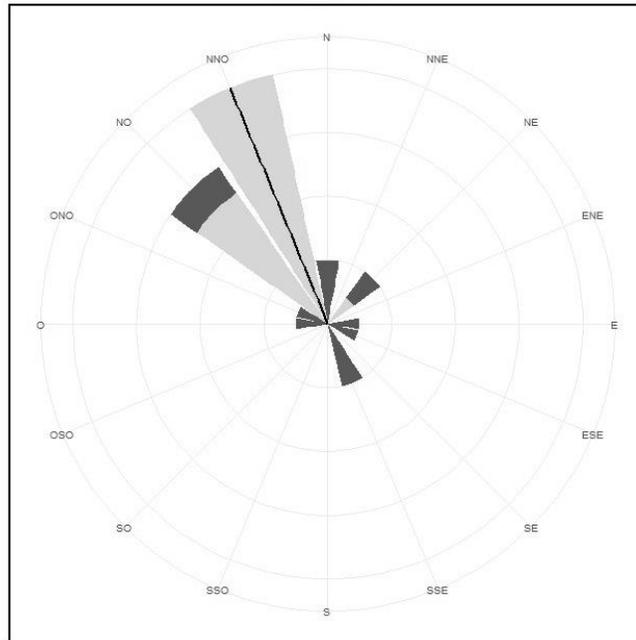
Autoría propia. Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA

2020-10-20

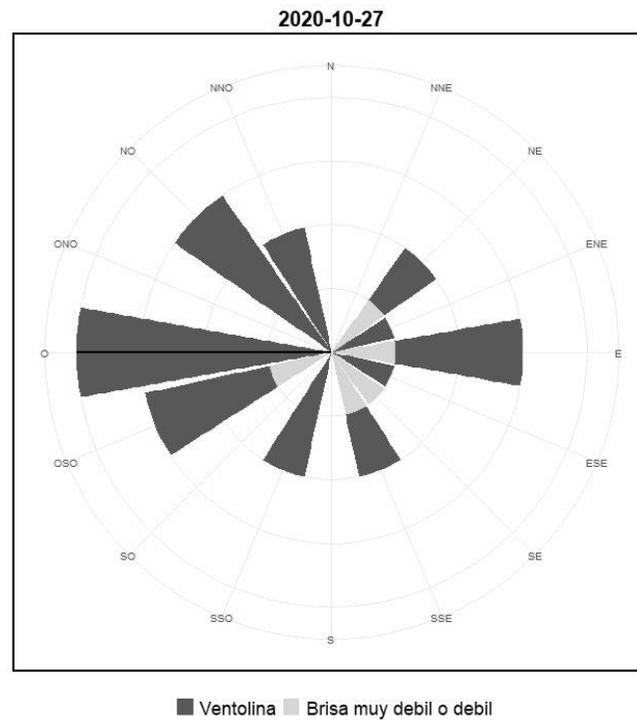


■ Ventolina ■ Brisa muy debil o debil

2020-10-22



■ Ventolina ■ Brisa muy debil o debil



Gráfica 13. "Rosas de los vientos".

Datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA, Dra. Monica Jaimes Palomera.

4.2 Conclusiones generales

A partir de conocer la significativa participación que tiene la contaminación ambiental desde tan diversos ámbitos y al realizar un enfoque preciso en los espacios en los que se habita, se vive, se interactúa y se realizan gran parte de nuestras actividades diarias se comprende que parte sustancial de la vida cotidiana del ser humano va de la mano con la arquitectura, es por ello la importancia visualizada en el análisis del viento y la contaminación del aire por partículas atmosféricas en relación a la convivencia continua o permanente con el ocupante del edificio.

Como arquitecto, es necesario contemplar todas las aristas que componen la situación, de tal manera es imprescindible brindar las herramientas y soluciones necesarias para satisfacer ampliamente las actividades y la vida misma de un usuario dentro de un espacio al realizar cierta actividad.

Acorde a esto, en ésta investigación se procuró dar un enfoque minucioso a una infinidad de variantes tanto perjudiciales como ventajosas continuamente presentes en los espacios interiores baste como muestra el análisis de una fracción del estado de la calidad del aire proveniente del exterior produciendo un impacto directo al interior. De ahí se genera el análisis físico de la raíz del riesgo a la salud donde al mismo tiempo se realiza una propuesta de protección de ésta a lo que resulta un acto significativo y de consideración ética al plantear un aporte tecnológico a la arquitectura en éste sentido.

Al ejecutar ésta investigación se consideró que a partir de una geometría inserta en un elemento constructivo se generaría un efecto de reducción de contaminantes en el aire que ingresa al espacio de modo que resulta valioso el considerar el planteamiento de reducción de contaminantes y poder integrarlo a futuros productos constructivos que conformen o participen en la estructura de integración de un recinto arquitectónico.

A pesar de haberse realizado solo una propuesta geométrica resulta interesante considerar dicho principio analítico para futuras propuestas o demás variantes de diseño.

Con respecto a las herramientas digitales empleadas para comprender mejor dicho método analítico de la geometría y los principios físicos que la envuelven, se concluye que es recomendable el considerar introducir al proceso de programación el mayor número posible de variantes y datos presentes de acuerdo al sitio de muestreo a razón de lograr mayor exactitud de cálculo.

En contraste y en definitiva resulta un proceso revelador en el acercamiento a la certeza de la hipótesis planteada. Es por ello que al detectar ciertos efectos no significativos durante el proceso de cálculo se ideó una propuesta de mejora al prototipo.

El proceso relacionado a la ideación del molde fue desafiante al detectarlo, sin embargo, revelador al llevarlo a cabo; de manera que en ésta parte metodológica surge una problemática referente al molde y desmolde de la pieza, en consecuencia, al proceso de industrialización.

Para comprender mejor, en su momento es necesario analizar éste proceso en el orden en el que se cita, de ahí que resulta un efecto no previsto en el impacto directo en costos y tiempos de producción. No obstante, es necesario pensar en todos los puntos que engloban

esta investigación, tal como el análisis y sus variantes, la metodología, la experimentación, la obtención de un prototipo, los análisis virtuales y físicos y la transferencia tecnológica; dónde ésta última comprende aspectos tales como la innovación, patentes, producción, venta, mercadotecnia etc.

En cuanto a los resultados obtenidos del muestreo y el estudio gravimétrico se concluye que la orientación del viento a pesar de ser un factor importante en dar un impulso a la velocidad de transporte de las partículas atmosféricas no muestra un impacto relevante en el funcionamiento de la celosía; sin embargo, se aprecia que en los dos primeros muestreos la velocidad del viento fue mayor a diferencia del último muestreo.

Es conveniente plantear una serie de mejoras en la geometría, la mampostería y la elección del material; éste último, a fin de inhibir la presencia de partículas derivadas de la propia erosión natural de la pieza; partículas que a su vez influyan directamente en los resultados de las muestras gravimétricas.

A razón de haber realizado la prueba en un espacio abierto se propició a que las mismas partículas atmosféricas tuvieran una trayectoria opuesta a la esperada, es por esto, que se propone realizar demás muestreos considerando un sitio donde se aprecien los resultados dentro de un entorno que englobe un ambiente exterior en contraste a un ambiente interior con la finalidad de propiciar un mayor y mejor flujo de aire y, a su vez, obtener mejores resultados, acordes y adecuados al contexto de la investigación.

4.3 Recomendaciones

Plantear una aportación en la rama de la arquitectura partió de un proceso del que fue necesario considerar seis ramas disciplinares, esto se debe a que en la innovación tecnológica, la integración multidisciplinar logra mejores, mayores y trascendentales avances tecnológicos.

En primer lugar la investigación dio cabida al análisis geométrico, por medio de un software de dinámica de fluidos computacional, tal que, como línea de investigación sería interesante continuar con el *análisis de diversas variantes geométricas en función de los resultados obtenidos*. (Ver propuesta de mejora de la pág. 136)

Como segundo lugar, en la rama del diseño industrial sería conveniente indagar en *procesos industrializados de productos de la construcción* y en contraste buscar la *mejoría y la eficiencia en la utilización de moldes a cera perdida*; o bien, buscar *propuestas de piezas ensamblables* que cuenten con características similares al de la celosía para su elaboración. (Ver propuesta de mejora de la pág. 148)

Como tercer punto en la rama de la química en concretos sería conveniente indagar mas y mayormente en el “*concreto biológico*” el cual podría contar con características favorables para su implementación en la arquitectura; algunas de las propiedades de análisis serían la *reproducción de musgo en sus caras, el control de humedades, sortear el debilitamiento estructural y el emparejamiento en los sistemas constructivos que rodeen al material*.

En cuarto lugar; se propone continuar la investigación referente a la “*resistividad eléctrica para determinación de la durabilidad*” dado que en el momento de realizar éste proceso no fue posible debido a la Pandemia que frenó en gran medida éste punto de la investigación.

En quinto lugar, en la rama de la biología y la horticultura es conveniente probar la *reproducción de musgos sobre materiales pétreos* y que soporten las inclemencias del clima y del paso del tiempo del ciclo de vida de un edificio; esto sería beneficioso y de gran aportación en los principios de diseño bioclimático en las vertientes que lo componen.

Finalmente en cuanto a los estudios de la *calidad del aire* en los edificios es conveniente indagar mas y mayormente en propuestas de soluciones de tipo físico, automatizado, pasivo, social, demográfico, de salud, psicológico y ambiental, ya que a lo largo del proceso de investigación es notable la carencia de información del estado del aire interior y su mejoría en la rama de la arquitectura.

ANEXOS

Disciplinas, instituciones y programas

Es importante destacar que México ha recibido apoyo por parte de organismos ambientales internacionales para el desarrollo de proyectos ambientales. En particular, el Banco Mundial, la Agencia Japonesa para la Cooperación Internacional y la Agencia Alemana de Control Técnico han apoyado los esfuerzos para el control de contaminación (Molina y Molina, 2005)¹.

- Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) 2011-2020 (ProAire)

Documento que contiene las políticas, estrategias y acciones que deben aplicarse en la ZMVM para mejorar la calidad del aire.

- Programa de contingencias ambientales atmosféricas

Mecanismo de carácter regulatorio que se utiliza en algunas ciudades o zonas metropolitanas de México, donde las normas de calidad del aire son rebasadas con frecuencia y especialmente cuando se presentan episodios de alta contaminación atmosférica.

- Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA)

Trabaja en una agenda enfocada a cinco rubros prioritarios para la protección del entorno ambiental y para promover un desarrollo sustentable del medio ambiente, con metas y acciones claras para el aprovechamiento integral y eficiente del capital natural y una nueva gobernanza ambiental que nos permita invertir, mantener y hacer una buena gestión de nuestros recursos naturales.

¹ Molina, L. y Molina, M, Alfaomega, La calidad del aire en la Mega ciudad de México, un enfoque integral, 2005, México, fecha de consulta: 2019.

- Organización Mundial de la Salud (OMS)

Es el organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial. Inicialmente fue organizada por el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas que impulsó la redacción de los primeros estatutos de la OMS.

- Dirección de Monitoreo Atmosférico

De la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal es el responsable del monitoreo y la vigilancia de la calidad del aire de la Ciudad de México y su área conurbada. Actualmente, está integrado por 4 subsistemas y un total de 44 estaciones de monitoreo, las cuales están distribuidas en las 16 alcaldías de la Ciudad de México y 10 municipios conurbados del Estado de México (EDOMEX).

- Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA):

Mide continuamente ozono (O_3), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$). Con esta información se genera el IMECA y cuando sus valores son altos se instrumenta el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA).

- Índice AIRE y SALUD

Relaciona la concentración de cada contaminante criterio con una categoría de calidad del aire, asignando un nivel de riesgo y las recomendaciones para la protección de los grupos sensibles y la población en general. Asigna la categoría Aceptable cuando la concentración máxima de cualquiera de los contaminante reportados por la estación es menor o igual al valor límite de la Norma Oficial Mexicana por lo que se considera satisfactorio y con un nivel de bajo riesgo para la salud cuando las concentraciones correspondan a las categorías Buena y Aceptable, sin embargo, para cualquier categoría superior existirá algún tipo de riesgo.

Índice AIRE y SALUD			
Categoría	Nivel de riesgo asociado	Grupos sensibles:	Para toda la población:
Buena	Bajo Se considera que el riesgo es mínimo.	Disfruta las actividades al aire libre.	
Aceptable	Moderado Las personas sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios (asmáticos), posible agravamiento de enfermedad pulmonar y cardíaca en personas con enfermedad cardiopulmonar y adultos mayores.	Considera reducir las actividades físicas vigorosas al aire libre.	Disfruta las actividades al aire libre.
Mala	Alto Para todos los contaminantes criterio existe probabilidad de disminución en la capacidad pulmonar en personas sanas. Incremento en la probabilidad de aparición de síntomas respiratorios en personas sensibles (niños, ancianos, personas con deficiencias nutricionales, personas que realizan actividades en exteriores, ciclistas, trabajadores). En personas con enfermedades respiratorias (EPOC, asma) y cardíacas (angina de pecho) hay aumento en la probabilidad de agravamiento y disminución en la tolerancia de la actividad física, así como mayor probabilidad de muertes prematuras en personas con enfermedad cardíaca o pulmonar	Evita las actividades físicas (tanto moderadas como vigorosas) al aire libre.	Reduce las actividades físicas vigorosas al aire libre
Muy mala	Muy Alto Para todos los contaminantes criterio, mayor probabilidad de presencia de síntomas respiratorios en población general. Agravamiento de síntomas respiratorios en poblaciones sensibles (niños, adultos mayores, personas que trabajan en exteriores, ciclistas) y en personas con enfermedad pulmonar (EPOC y asma). Incremento en síntomas cardiovasculares, como dolor precordial, en personas enfermas del corazón, así como mayor probabilidad de muertes prematuras en personas con enfermedad cardíaca o pulmonar.	No realices actividades al aire libre. Acudir al médico si se presentan síntomas respiratorios o cardíacos.	Evita las actividades físicas moderadas y vigorosas al aire libre.
Extremadamente mala	Extremadamente Alto Para todos los contaminantes criterio, incremento en la probabilidad de síntomas severos respiratorios en población general. Serios efectos respiratorios y agravamiento de síntomas en personas sensibles (niños, adultos mayores, persona con deficiencias nutricionales) y en personas con enfermedad pulmonar (asma y EPOC). Agravamiento de síntomas cardiovasculares en enfermos del corazón (como angina de pecho) e incremento en la probabilidad de muerte prematura en personas con enfermedad pulmonar y cardíaca.	Permanece en espacios interiores. Acudir al médico si se presentan síntomas respiratorios o cardíacos.H8	

Tabla 34. "Índice AIRE y SALUD", se divide en 5 categorías, para simplificar su interpretación cada intervalo se representa mediante un color.

Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnml=&dc=%27Zw==>

- Plan verde de la Ciudad de México

Contiene las estrategias y acciones para encaminar a la Ciudad de México hacia la sustentabilidad de su desarrollo., además, es un mecanismo de comunicación para que los ciudadanos, de manera ágil y sencilla, puedan conocer la valoración que hace su gobierno de los temas de relevancia ambiental, que objetivos se propone alcanzar y cuales son las estrategias y acciones de alto impacto para lograrlo.

- Agenda ambiental de la Ciudad de México

Conduce al Distrito Federal hacia la sustentabilidad, pues como todas las ciudades del nuevo siglo, la metrópoli exige políticas y acciones concretas de mediano y largo plazos para garantizar su viabilidad ecológica. La Agenda representa un conjunto de acciones sin precedentes para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y lograr el propósito del Gobierno del Distrito Federal de hacer de nuestra ciudad la más verde de América Latina; pero, principalmente, responde a la demanda legítima de contar con políticas que propicien medidas en contra del deterioro ambiental.

- Estrategia local de acción climática de la Ciudad de México

La presente Estrategia responde a una política de compromiso del Gobierno del Distrito Federal con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en sinergia con las políticas locales de reducción de emisiones de contaminantes en la ciudad, así como de aprovechamiento de oportunidades en el marco del Protocolo de Kioto, del Mecanismo de Desarrollo Limpio y de otros instrumentos que se están generando en el ámbito mundial, en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

- Programa de acción climática de la Ciudad de México

El Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCM) 2014-2020 es el instrumento de planeación que integra, coordina e impulsa acciones para disminuir los riesgos ambientales, sociales y económicos, y promueve el bienestar de la población, la participación colectiva y la igualdad de género.

- Programa para contingencias ambientales atmosféricas en la Ciudad de México

Acuerdos de restricción a la circulación vehicular. acuerdo que establece las medidas para limitar la circulación de los vehículos automotores en el Distrito Federal para prevenir y controlar la contaminación atmosférica y contingencias ambientales; y, acuerdo que establece las medidas para limitar la circulación de los vehículos automotores en los municipios conurbados de la Zona Metropolitana del Valle de México para prevenir y controlar la contaminación atmosférica y contingencias ambientales.

- Centro de Ciencias de la Atmósfera (C.C.A.)

Desarrollar y promover las Ciencias Atmosféricas en la UNAM y en México, mediante la generación de conocimiento de manera integral e interdisciplinaria, la formación de recursos humanos especializados en el área, así como, la vinculación de la ciencia con la resolución de problemas nacionales y con actividades culturales, intelectuales y productivas del País.

Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PSMARN)

- Establece el conjunto de objetivos sectoriales, estratégicos y metas mediante los cuales el sector atenderá los objetivos y estrategias que define el Plan Nacional de Desarrollo en materia de Sustentabilidad ambiental.

Normatividad, parámetros y estándares

Referente a la contaminación ambiental

- NOM-025-SSA1-2014

Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM_{10} y partículas menores de 2.5 micrómetros $PM_{2.5}$ de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire

- NADF-009-AIRE-2006

Norma Ambiental para el Distrito Federal que establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire

- Certificación LEED Calidad del aire interior (LEED Indoor air quality)²

A través del sistema de calificación LEED, el USGBC apoya activamente la mejora de la salud de los ocupantes del edificio al recompensar las consideraciones de diseño y operación realizadas para mejorar la IAQ. Varios créditos abordan la medición y el monitoreo de la calidad del aire interior:

- Manual AP-42; Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA)³

La información proporcionada aquí se basa en el entendimiento técnico y científico actual de los problemas presentados. Seguir los consejos brindados no necesariamente ofrecerá protección completa en todas las situaciones o contra todos los peligros para la salud que puedan ser causados por la contaminación del aire interior.

Referente a regulaciones de construcción de la ZMVM

- Reglamento de construcciones del Distrito Federal

Las disposiciones del Reglamento y de sus Normas Técnicas Complementarias, son de orden público e interés social. Los proyectos ejecutivos de obra, las obras de construcción, modificación, ampliación, reparación, instalación y demolición, así como el uso de las edificaciones y los usos, destinos y reservas de los predios del territorio de la Ciudad de México, deben sujetarse a las disposiciones de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal y su Reglamento; este Reglamento; las Normas Técnicas Complementarias y demás disposiciones jurídicas y administrativas aplicables, incluyendo las de impacto ambiental, sustentabilidad, movilidad y protección civil.

² Learn about indoor air quality testing in LEED, <https://www.usgbc.org/articles/learn-about-indoor-air-quality-testing-lead>, fecha de consulta: 2019.

³ Cómo mejorar la calidad del aire de los interiores, <https://espanol.epa.gov/cai/como-mejorar-la-calidad-del-aire-de-los-interiores>, fecha de consulta: 2019.

Se aplicará de manera supletoria al presente Reglamento, la Ley de Procedimiento Administrativo del Distrito Federal, además de las disposiciones mencionadas en este ordenamiento

- Ley de obras públicas y servicio relacionados con las mismas

De orden público y tiene por objeto reglamentar la aplicación del artículo 134 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de contrataciones de obras públicas, así como de los servicios relacionados con las mismas.

- Reglamento de la ley de obras públicas y servicio relacionados con las mismas

Tiene por objeto establecer las disposiciones que propicien oportuno y estricto cumplimiento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.

- Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería

Estas Normas contienen requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de estructuras de mampostería.

- NMX-C-111

Ésta norma establece las especificaciones y métodos de ensayo que deben cumplir los agregados naturales, procesados y mixtos de uso común para la producción de concretos de masa normal.

- NMX-C-036-ONNCCE-2013

Se incluyen en esta norma, todos los bloques, tabiques o ladrillos, tabicones, celosías y adoquines fabricados de concreto, arcilla y otros materiales para la construcción. En el caso de bloques y tabiques para muros estructurales, piezas para celosías y adoquines para pavimentos vehiculares o peatonales, las especificaciones de resistencia con que tengan que cumplir se consultan en las normas mexicanas NMX-C-404-ONNCCE-2012, NMX-C-441-ONNCCE-2005 y NMX-C-314-1996 respectivamente.

- M-MMP-2-02-055-06 MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

Este manual describe los procedimientos para la obtención de muestras de concreto fresco a que se refiere la Norma N-CMT-2-02-005 Calidad del concreto hidráulico a fin de comprobar que cumplan con los requisitos de calidad descritos en dicha norma.

- N-CMT-2-02-005-04 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Esta Norma contiene las características de calidad del concreto hidráulico que se utilice en la construcción de estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

Arrieta Fuentes Alvaro Javier, 2016, Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo, Dispersión de material particulado (PM_{10}), con Interrelación de factores meteorológicos y topográficos, 2016.

García Chávez María de los Ángeles, 2014, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Análisis correlacional entre el incremento de los automóviles particulares y la concentración de partículas menores a diez micrómetros (PM_{10}) en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca durante el periodo 2006-2011, Estado de México, 2014.

Canales-Rodríguez Miguel Á., Quintero-Núñez Margarito, Castro-Romero Telma G. y García-Cuento Rafael O., 2014, Universidad Autónoma de Baja California Programa Doctorado en Ciencias del MYDCI Instituto de Ingeniería, Las partículas respirables PM_{10} y su composición química en la zona urbana y rural de Mexicali Baja California en Mexico, Mexicali Baja California México, 2014.

Arciniégas Suárez César Augusto, Revista Luna Azul núm. 34, enero-junio, 2012, Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM_{10} , Universidad de Caldas, Manizales Colombia, 2012.

Vázquez Carlos, Beristain Fernando y Audelo Estela, 2012, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Caracterización del patrón de comportamiento de las partículas en suspensión en el Valle de México, Ciudad de México, 2012.

Rojano Roberto, Arregoces Heli y Restrepo Gloria, 2014, Grupo de Investigación GISA Facultad de Ingeniería Universidad de La Guajira, Composición elemental y fuentes de origen de partículas respirables (PM_{10}) y partículas suspendidas totales (PST) en el área urbana de la ciudad de Riohacha, Colombia, 2012.

Vallejo Maite, Jáuregui Katherine, Hermosillo Antonio, Márquez Manlio y Cardenas Manuel, 2012, Academia Nacional de Medicina de México A.C., Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la ciudad de México, 2012.

Cortés Eunice, Pelcastre Saira y Rodríguez Velia, 2016, Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Infografías Inventario de emisiones de la Ciudad de México 2016 Contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero, Ciudad de México, 2018.

Puppo Ernesto y Puppo Giorgio, Marcombo Boixareu Editores, 1979, Acondicionamiento natural y arquitectura: ecología en arquitectura, Barcelona España, 1979.

García Chávez José Roberto y Fuentes Freixanet Victor, Editorial Trillas Sa De Cv, 2005, Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico, Ciudad de México, 2005.

Berenguer Subils María José, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014, NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo, España, 2014.

Alvarez Bayona Teresa, Peñahora García María, Martín Sánchez Isidro y Centro nacional de nuevas tecnologías, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015, Calidad del ambiente interior en oficinas. Identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo, Madrid España, 2015.

Guasch Farrás Juan, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.

Berenguer Subils María José, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014, NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire, España, 1982.

Ching M. Francis D. K., Gustavo Gili, Diccionario visual de arquitectura, Barcelona España, 2008.

Berenguer Subils María José, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014, NTP 431: Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores, España, 1992.

Baruch Givoni, Technion Institute of Technology, Basic study of ventilation problems in hot countries building research station, Haifa Israel, 1962.

Bowen Arthur, Memorias Plea 84, Design guidelines on vertical airflow in building and urban areas, México, 1984.

Reed Robert H., Texas Engineering Experimental Station, College Station, Design for natural ventilation in hot humid weather, Texas, 0000.

Olgay Victor, Design whit climate, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1963.

Koeningsberger O.H.y Szokolay Steve, Longman, Manual of tropical housing and building, Londres, 1974.

Buck Charles, Department of Agriculture, Forest Service, Fire weather, Agriculture Handbook 360, EUA, 1970.

Watson Donald y Labs Kenneth, Guilford, Climatic design for home building, CT, 1980.

Fuentes Freixanet Victor Armando y Rodríguez Viqueira Manuel, Universidad Autónoma Metropolitana, Ventilación natural Cálculos básicos para la arquitectura, Ciudad de México, 2004.

Feng SHAO, Haitang WU, Guo LI, Fengbin SUN, Lu YU, Yinke ZHANG, Li DONG y Zhiyi BAO; School of Landscape Architecture Beijing Forestry University, PM_{2.5} Concentrations in the greenbelt near the Lin'an Toll Station of the Hang Rui Expressway and their related influencing factors, Beijing China, 2019.

Kosmatka Steven H, Kerkhoff Beatrix, Panarese William C., y Tanesi Jussara, Portland Cement Assosiation, Diseño y control de mezclas de concreto, 2004, Illinois EUA, 2004, pag. 0, parrafo 0, fecha de consulta: 2019.

Cengel Yunus, Cimbala Jhon. M., McGraw-Hill, Mecánica de Fluidos; Fundamentos y Aplicaciones, 2012, México, fecha de consulta: 2019.

Askeland Donald R., Wright Wendelin J., Cengage Learning, Ciencia e ingeniería de materiales séptima edición, 2017.

Ceballos Arana Martín, Holcim México, El concreto, material fundamental para la infraestructura, 2016.

Molina Torres Rogelio, Universidad Nacional Autónoma de México, Panel vegetal para el mejoramiento del aire en espacios interiores, 2017.

Molina, L. y Molina, M, Alfaomega, La calidad del aire en la Mega ciudad de México, un enfoque integral, 2005.

Vega, Elizabeth, Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, presentación: “Contaminación por partículas, ¿De dónde vienen?”, fecha de consulta: 2019

MESOGRAFÍA

Calidad del aire de la CDMX; <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>, fecha de consulta: 2018.

El Siglo, Cia. Editora de la Laguna S.A de C.V.,
<https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1283846.descubren-que-causo-la-gran-niebla-de-londres.html>, fecha de consulta: 2018.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/Principales-contaminantes.aspx>, fecha de consulta: 2018.

Física termodinámica, <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/efecto-venturi/>, fecha de consulta: 2019.

El sorprendente valor de los árboles para combatir la contaminación en el aire de las ciudades, <https://www.bbc.com/mundo/noticias-39195220>, fecha de consulta: 2019.

¿Qué son las cortinas forestales?, <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/que-son-las-cortinas-forestales.html>, fecha de consulta: 2019.

Cortinas Rompevientos, Bondades!, <https://www.agritotal.com/nota/cortinas/>, fecha de consulta: 2019.

Consejos para Conservar el Suelo e Incrementar la Fertilidad y la Producción,
<http://sistemaagricola.com.mx/blog/consejos-para-conservar-el-suelo/>, fecha de consulta: 2019.

Este innovador ladrillo aspira la polución del aire, https://www.archdaily.mx/mx/775575/este-innovador-ladrillo-aspira-la-polucion-del-aire?ad_source=search&ad_medium=search_result_all,
fecha de consulta: 2019.

Hormigón biológico para construir “fachadas vivas”,
<http://www.comunidadism.es/actualidad/hormigon-biologico-para-construir-fachadas-vivas>,
fecha de consulta: 2019.

Proceso constructivo de concreto permeable,
<https://concretoenlaconstruccion.com/concreto/proceso-constructivo-de-concreto-permeable/>,
fecha de consulta: 2019.

Ecobas by Basaltex, <https://www.basaltex.com.mx/ecobas/>, fecha de consulta: 2019.

Fachadas, <https://www.construmatica.com/construpedia/Fachadas>, fecha de consulta: 2019.

Celosías: Las más recientes noticias y obras de arquitectura,
<https://www.archdaily.mx/mx/tag/celosias>, fecha de consulta: 2019.

Industrialización de productos, <http://www.linkinginnovations.es/servicios/industrializacion-de-productos>, fecha de consulta: 2019.

Máquina universal de ensayos mecánicos, <https://www.upc.edu/sct/es/equip/519/maquina-universal-ensayos-mecanicos.html>, fecha de consulta: 2019.

Arquitectura vegetal, <https://www.urbanarbolismo.es/blog/arquitectura-vegetal/>, fecha de consulta: 2019.

Musgos – Características, hábitat, reproducción y clasificación, <https://naturaleza.paradise-sphynx.com/plantas/musgos.htm#caracteristicas-de-los-musgos>, fecha de consulta: 2019.

IMECA: Índice METropolitano de la Calidad del Aire,
<https://www.gob.mx/comisionambiental/es/articulos/imeca-indice-metropolitano-de-la-calidad-del-aire?idiom=es>, fecha de consulta: 2019.

Learn about indoor air quality testing in LEED, <https://www.usgbc.org/articles/learn-about-indoor-air-quality-testing-leed>, fecha de consulta: 2019.

Cómo mejorar la calidad del aire de los interiores, <https://espanol.epa.gov/cai/como-mejorar-la-calidad-del-aire-de-los-interiores>, fecha de consulta: 2019.

Muestreador de partículas suspendidas de aire ambiente PQ200, <https://bgi.mesalabs.com/muestreador-de-particulado-de-aire-ambiente-pq200/?lang=es>, fecha de consulta: 2020.

Índice AIRE y SALUD

<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnmI=&dc=%27Zw==>, fecha de consulta: 2020

