



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa

1

9 de noviembre de 2020.
Dictamen C.I. 15/2020

DICTAMEN QUE PRESENTA LA COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN Y DISEÑO

ANTECEDENTES

- I. El Consejo Divisional de Ciencias de la Comunicación y Diseño, en la sesión 10.19, celebrada el 16 de julio de 2019, integró esta Comisión en los términos señalados en el artículo 55 del Reglamento Interno de los Órganos Colegiados Académicos.
- II. El Consejo Divisional designó para esta Comisión a los siguientes integrantes:
 - a) Órganos personales:
 - ✓ Dr. Jesús Octavio Elizondo Martínez, Jefe del Departamento de Ciencias de la Comunicación;
 - ✓ Dra. Cecilia Castañeda Arredondo, Jefa del Departamento de Teoría y Procesos del Diseño;
 - ✓ Dr. Carlos Joel Rivero Moreno, Jefe del Departamento de Tecnologías de la Información.
 - b) Representantes propietarios:
 - Personal académico:
 - ✓ Dr. André Moise Dorcé Ramos, Departamento de Ciencias de la Comunicación;
 - ✓ Dra. Deyanira Bedolla Pereda, Departamento de Teoría y Procesos del Diseño;
 - ✓ Dr. Tiburcio Moreno Olivos, Departamento de Tecnologías de la Información.

CONSIDERACIONES

- I. La Comisión recibió, para análisis y discusión, el informe final del proyecto de investigación denominado "***Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos***" presentado por la Mtra. Lucila Mercado Colín, aprobado en la Sesión 18.17 celebrada el 7 de diciembre de 2017, mediante Acuerdo DCCD.CD.05.18.17.



División
Ciencias de la
Comunicación y
Diseño

Unidad Cuajimalpa

DCCD | División de Ciencias de la Comunicación y Diseño
Torre III, 5to. piso. Avenida Vasco de Quiroga 4871,
Colonia Santa Fe Cuajimalpa, Alcaldía Cuajimalpa de Morelos,
Tel. +52 (55) 5814-6553. C.P. 05348, México, D.F.
<http://dccd.cua.uam.mx>

- II. El Consejo Divisional de Ciencias de la Comunicación y Diseño aprobó una prórroga del proyecto hasta el 7 de diciembre de 2019 mediante Acuerdo DCCD.CD.08.17.18 de la Sesión de Consejo Divisional 17.18 celebrada el 4 de diciembre de 2018.
- III. La Comisión de Investigación sesionó el 9 de noviembre de 2020, fecha en la que concluyó su trabajo de análisis y evaluación del informe final, con el presente Dictamen.
- IV. La Comisión tomó en consideración los siguientes elementos:
- *"Lineamientos para la creación de grupos de investigación y la presentación, seguimiento y evaluación de proyectos de investigación"* aprobados en la Sesión 06.16 del Consejo Divisional de Ciencias de la Comunicación y Diseño, celebrada el 6 de junio de 2016, mediante al acuerdo DCCD.CD.15.06.16.
 - Protocolo de investigación.
 - Relevancia para el Departamento.
 - Objetivos planteados.
 - Resultados obtenidos.

V. Objetivo planteado:

Desarrollar un sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en el censo de tres indicadores de la calidad del aire (CO₂, CO, O₂ y COVs) en estacionamientos subterráneos.

VI. Resultados obtenidos:

Los entregables como prototipos son:

1. Nodo sensor con Arduino (prototipo uno).
2. Nodo concentrador con Raspberry-Pi (prototipo dos).
3. Visualizador de datos. Census Graph (prototipo tres).
4. Nodo sensor CO₂ y O₂ con LabView (prototipo cuatro)

Los reportes digitales de cada prototipo incluyen: Objetivo, memoria gráfica, memoria fotográfica, memoria de diseño, manual de usuario (investigador), archivos digitales para impresión 3D, prototipos terminados (fotografías), resultado obtenido.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa

DICTAMEN

ÚNICO:

Tras evaluar el informe final del proyecto de investigación denominado "***Sistema de sentido interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos***" presentado por la Mtra. Lucila Mercado Colín, la Comisión de Investigación recomienda al Consejo Divisional de Ciencias de la Comunicación y Diseño aceptarlo.

VOTOS:

Integrantes	Sentido de los votos
Dr. Jesús Octavio Elizondo Martínez	A favor
Dra. Cecilia Castañeda Arredondo	A favor
Dr. Carlos Joel Rivero Moreno	A favor
Dr. André Moise Dorcé Ramos	-----
Dra. Deyanira Bedolla Pereda	-----
Dr. Tiburcio Moreno Olivos	A favor
Total de los votos	4 votos a favor

Coordinadora

Dra. Gloria Angélica Martínez De la Peña
Secretaria del Consejo Divisional de
Ciencias de la Comunicación y Diseño



División
Ciencias de la
Comunicación y
Diseño

Unidad Cuajimalpa

DCCD | División de Ciencias de la Comunicación y Diseño
Torre III, 5to. piso. Avenida Vasco de Quiroga 4871,
Colonia Santa Fe Cuajimalpa, Alcaldía Cuajimalpa de Morelos,
Tel. +52 (55) 5814-6553. C.P. 05348, México, D.F.
<http://dccd.cua.uam.mx>



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa

*Comunidad académica comprometida
con el desarrollo humano de la sociedad.*

Ciudad de México 23 de octubre 2020

DTPD.110.20

Asunto:

Reporte de cierre del proyecto: "Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos"

Mtro. Octavio Mercado González
Presidente del Consejo Divisional
División de Ciencias de la Comunicación y Diseño
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Cuajimalpa
Presente

Por este medio hago de su conocimiento el reporte de cierre del proyecto de investigación "Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos", cuya responsable es la Mtra. Lucila Mercado Colín, para su dictamen y aprobación.

El proyecto de investigación "Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos" fue aprobado por el Consejo Divisional de la DCCD. Dictamen 04/17 del 27 de noviembre del 2017. Se aprobó una prorrogación por el Consejo Divisional de la DCCD. Dictamen 21/18 del 22 de noviembre de 2018.

Tuvo como participantes a:

Dra. Alicia Montserrat Alvarado González. (Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas).

Dr. Gabriel Viguera Ramírez (Departamento de Procesos y Tecnología).

Mtro. Alejandro Rodea Chávez (Departamento de Teoría y Procesos del Diseño).

Mtra. Erika Cortés López (Posgrado Diseño Industrial-UNAM).

Para su análisis y dictaminación **se anexan los siguientes documentos:**

Reportes:

1. Nodo sensor con *Arduino* (prototipo uno).
2. Nodo concentrador con *Raspberry-Pi* (prototipo dos).
3. Visualizador de datos. *Census Graph* (prototipo tres).
4. Nodo sensor CO₂ y O₂ con *LabView* (prototipo cuatro)

Los reportes digitales de cada prototipo incluyen:

- Objetivo
- Memoria gráfica



División
Ciencias de la
Comunicación y
Diseño

Unidad Cuajimalpa

División de Ciencias de la Comunicación y Diseño
Torre III, 5to. piso. Avenida Vasco de Quiroga 4871,
Colonia Santa Fe Cuajimalpa. Delegación Cuajimalpa de Morelos,
Tel. +52 (55) 5814-6553. C.P. 05300, México, D.F.
<http://dccd.cua.uam.mx>



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Cuajimalpa

*Comunidad académica comprometida
con el desarrollo humano de la sociedad.*

- Memoria fotográfica
- Memoria de diseño
- Manual de usuario (investigador)
- Archivos digitales para impresión 3D
- Prototipos terminados (fotografías)
- Resultado obtenido

De igual forma, a continuación, enuncio los documentos que se anexan a la presente con la intención de dar un contexto del proyecto:

- Protocolo de Investigación
- Aprobación en el Consejo Divisional de CCD. Dictamen 04/17 del 27 de noviembre del 2017.
- Solicitud de prórroga al Consejo Divisional. Dictamen 21/18 del 22 de noviembre de 2018.

Sin más por el momento, le envío un cordial saludo.

Atentamente

“Casa abierta al tiempo”

Dra. Erika Cecilia Castañeda Arredondo

Departamento de Teoría y Procesos del Diseño

*ccp. Archivo



División
Ciencias de la
Comunicación y
Diseño

Unidad Cuajimalpa

División de Ciencias de la Comunicación y Diseño
Torre III, 5to. piso. Avenida Vasco de Quiroga 4871,
Colonia Santa Fe Cuajimalpa. Delegación Cuajimalpa de Morelos,
Tel. +52 (55) 5814-6553. C.P. 05300, México, D.F.
<http://dccd.cua.uam.mx>

Cd. México a 23 de octubre del 2020

Dra. Erika Cecilia Castañeda Arredondo
Jefa del Departamento de Teoría y Procesos del Diseño
P r e s e n t e

Estimada Dra. Castañeda, por este medio le hago entrega del **Reporte técnico** que informa sobre los avances del proyecto “Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos”. Así mismo le solicito, sea tan amable de **expedirnos una constancia de dicha entrega** en la que se enuncie la entrega del Reporte técnico y el nombre de los integrantes del equipo de desarrollo.

Es importante señalar que con este reporte damos por concluido el proyecto

El proyecto fue aprobado por el Consejo Divisional de la DCCD. Dictamen 04/17 del 27 de noviembre del 2017.

Se aprobó una prórroga por el Consejo Divisional de la DCCD. Dictamen 21/18 del 22 de noviembre de 2018.

Participantes en el proyecto:

Coordinadora:

MDI. Lucila Mercado Colin (Departamento de Teoría y Procesos del Diseño).

Investigadores:

Dra. Alicia Montserrat Alvarado González. (Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas).

Dr. Gabriel Vigueras Ramírez (Departamento de Procesos y Tecnología).

Mtro. Alejandro Rodea Chávez (Departamento de Teoría y Procesos del Diseño).

Mtra. Erika Cortés López (Posgrado Diseño Industrial-UNAM)

Estudiantes Becarios:

- Guadalupe Diana Steffani Fonseca Ramírez (Ingeniería biológica)
- David Ernesto Acosta Ceja (Ingeniería en computación)
- Jorge García Medina (Diseño)
- Daniel García Landeros (Ingeniería en computación)
- Antonio Guerrero Juárez (Ingeniería en computación)
- Joel André Hernández Infante (Ingeniería en computación)
- Erik Martínez García (Diseño)
- Yoshua Escobar Maitrett (Diseño)

Documentación que se anexa a la presente:

- **Reporte técnico final** del proyecto “Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos”, mismo que contiene:
 - Propuesta
 - Marco teórico
 - Método utilizado
 - Memoria gráfica
 - Memoria fotográfica
 - Memoria de Diseño
 - Resultados

Así mismo, con la intención de dar un contexto del reporte:

- **Protocolo del Proyecto** (propuesta)
- **Aprobación en el Consejo Divisional de CCD.** Dictamen 04/17 del 27 de noviembre del 2017.
- **Solicitud de prórroga al Consejo Divisional.** Dictamen 21/18 del 22 de noviembre de 2019.

Sin más por el momento, agradezco su atención.

A t e n t a m e n t e



MDI. Lucila Mercado Colin

Coordinadora del Proyecto
Departamento de Teoría y procesos del Diseño
Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa

Cd. México a 23 de octubre del 2020

Dra. Erika Cecilia Castañeda Arredondo
Jefa del Departamento de Teoría y Procesos del Diseño
P r e s e n t e

Estimada Dra. Castañeda, por este medio le hago entrega de la documentación probatoria del **desarrollo de cuatro prototipos** resultado del proyecto “Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos”. Así mismo le solicito, sea tan amable de **expedirnos una constancia de dicha entrega** en la que enuncien los productos que se entregan y el nombre de los integrantes del equipo de desarrollo.

El proyecto fue aprobado por el Consejo Divisional de la DCCD. Dictamen 04/17 del 27 de noviembre del 2017.

Se aprobó una prórroga por el Consejo Divisional de la DCCD. Dictamen 21/18 del 22 de noviembre de 2018.

Participantes en el proyecto:

Coordinadora:

MDI. Lucila Mercado Colin (Departamento de Teoría y Procesos del Diseño).

Investigadores:

Dra. Alicia Montserrat Alvarado González. (Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas).

Dr. Gabriel Viguera Ramírez (Departamento de Procesos y Tecnología).

Mtro. Alejandro Rodea Chávez (Departamento de Teoría y Procesos del Diseño).

Mtra. Erika Cortés López (Posgrado Diseño Industrial-UNAM)

Estudiantes Becarios:

- Guadalupe Diana Steffani Fonseca Ramírez (Ingeniería biológica)
- David Ernesto Acosta Ceja (Ingeniería en computación)
- Jorge García Medina (Diseño)
- Daniel García Landeros (Ingeniería en computación)
- Antonio Guerrero Juárez (Ingeniería en computación)
- Joel André Hernández Infante (Ingeniería en computación)
- Erik Martínez García (Diseño)
- Yoshua Escobar Maitrett (Diseño)

Los entregables como prototipos son:

1. Nodo sensor con Arduino (prototipo uno).
2. Nodo concentrador con Raspberry-Pi (prototipo dos).
3. Visualizador de datos. Census Graph (prototipo tres).
4. Nodo sensor CO₂ y O₂ con LabView (prototipo cuatro)

A continuación enuncio los documentos que se anexan a la presente, con la intención de describir las características de los diferentes prototipos.

Se anexan los siguientes reportes:

1. Nodo sensor con Arduino (prototipo uno).
2. Nodo concentrador con Raspberry-Pi (prototipo dos).
3. Visualizador de datos. Census Graph (prototipo tres).
4. Nodo sensor CO₂ y O₂ con LabView (prototipo cuatro)

Los reportes digitales de cada prototipo incluyen:

- Objetivo
- Memoria gráfica
- Memoria fotográfica
- Memoria de diseño
- Manual de usuario (investigador)
- Archivos digitales para impresión 3D
- Prototipos terminados (fotografías)
- Resultado obtenido

De igual forma, a continuación enuncio los documentos que se anexan a la presente con la intención de dar un contexto del proyecto:

- Protocolo del Proyecto
- Aprobación en el Consejo Divisional de CCD. Dictamen 04/17 del 27 de noviembre del 2017.
- Solicitud de prórroga al Consejo Divisional. Dictamen 21/18 del 22 de noviembre de 2018.

Sin más por el momento, agradezco su atención.

A t e n t a m e n t e



MDI. Lucila Mercado Colin

Coordinadora del Proyecto
Departamento de Teoría y procesos del Diseño
Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa

Reporte técnico:

Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos

Proyecto aprobado probado en la sesión 18.17 del 7 de diciembre de 2017.
Solicitud de prórroga aprobada hasta el 7 de diciembre de 2019

Participantes:

Coordinadora del proyecto:

MDI. Lucila Mercado Colin (Departamento de Teoría y Procesos del Diseño).

Investigadores:

Coordinadora del “Sistema de sensado interactivo” (software):

Dra. Alicia Montserrat Alvarado González. (Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas).

Coordinador del desarrollo del funcionamiento y verificación de sensores de CO₂ y O₂ con LabView:

Dr. Gabriel Vigueras Ramírez (Departamento de Procesos y Tecnología).

Coordinador del “Sistema de sensado interactivo” (hardware):

Mtro. Alejandro Rodea Chávez (Departamento de Teoría y Procesos del Diseño).

Coordinadora del proceso de Indagación:

Mtra. Erika Cortés López (Posgrado Diseño Industrial-UNAM)

Estudiantes Becarios:

- Guadalupe Diana Steffani Fonseca Ramírez (Ingeniería biológica)
- David Ernesto Acosta Ceja (Ingeniería en computación)
- Jorge García Medina (Diseño)
- Daniel García Landeros (Ingeniería en computación)
- Antonio Guerrero Juárez (Ingeniería en computación)
- Joel André Hernández Infante (Ingeniería en computación)
- Erik Martínez García (Diseño)
- Yoshua Escobar Maitrett (Diseño)

Cd. México a 22 de octubre del 2020.

Sistema de sensado* interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos.

* “Detectar por medio de sensores”.

Consideramos que con el nivel de desarrollo alcanzado es posible establecer la finalización del proyecto, por lo que solicitamos se estime como concluido.

Índice	Página
1 Los avances de la investigación.	4
• Antecedentes	4
2 Las etapas de la investigación	6
• Marco teórico	7
• Los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire	7
• Consideraciones Relativas a la Valoración de la Calidad del Aire	8
• Utilidad de los Datos de Calidad del Aire	10
• Dióxido de Carbono	11
• Propiedades del dióxido de carbono	11
• El papel del dióxido de carbono en los procesos ambientales	12
• Influencia del dióxido de carbono en la alcalinidad	12
• Emisiones de dióxido de carbono por el hombre	13
• Efecto Invernadero	13
• El tratado de Kyoto	14
• El dióxido de carbono y la salud	14
• Aspectos de salud provocados por el incremento en la concentración de dióxido de Carbono (CO ₂).	15
• Indagación para el diseño	16
• Desarrollo de herramientas	20
• Lluvia de ideas (Brainstorm)	22
• Comparación contra referencias (Benchmark)	23
• Análisis	23
• Perfiles de usuario	24
• El proceso de desarrollo	24
• Método utilizado para el cálculo de indicadores de concentración de gases.	26
• Métodos para el análisis de gases	27
• Adquisición de datos en tiempo real	27
• Sensor de CO ₂ (K-33 ICB 10%, CO ₂ meter)	28
• Sensor básico de oxígeno (UV FLUX 25%, CO ₂ meter)	28
• Perspectiva de la industria	29
• Perspectivas tecnológicas	30
• Perspectivas de uso final	31
• Ideas regionales	31
• Perspectivas de la cuota de mercado del sensor de gas	31

• Productos (prototipos) desarrollados en el proceso	31
• Prototipo CO2 y O2 con LabView	32
• Análisis de los componentes del sistema de sensado Interactivo	32
• Nodo Sensor	32
• Desarrollo de la App móvil y Sistema de Información	34
• Aplicación Móvil de Control	34
• Nodo Concentrador	35
• Sistema de Información	36
• Ingreso al sistema	37
• Recuperar la contraseña	38
• Visualización de la información	38
• Descarga de información	38
• Desarrollo del sistema	39
• Nodo Sensor	39
• Instalación de sistema operativo en Raspberry.	40
• Creación de programa para iniciar comunicación mediante socket en Raspberry Pi.	40
• Asignación de IP estática dentro de una red local en Raspberry Pi.	40
• Ingreso al Sistema.	41
• Visualización de la información adquirida mediante los Nodos Sensores.	43
• Descarga de la información	44
• Desarrollo estructural de los prototipos físicos	44
• Memoria de Diseño de estructuras y carcasas	45
• Componentes físicos desarrollados para los prototipos 1 y 2	46
• Molde para termoformado	47
• Carcasas	47
• Soporte secundario	48
• Soporte principal	48
• Elementos de impresión tridimensional	49
• Base Superior	49
• Seguro para fuente de poder	49
• Base Inferior	49
• Soporte de ducto neumático	50
• Botón para activación del indicador de carga de la fuente de poder	50
• Base de giro del botón para activación del indicador de fuente de poder	50
• Conector eléctrico a la fuente de poder, salida 12V	51
• Cápsula para sensores de gases	51
• Circuito o tarjeta PCB	51
• Base para el ventilador	53
• Base para LED y botón de reinicio	53
• Referencias	54

3	Los resultados de la investigación	ANEXOS
	• Prototipo 1. Nodo sensor con Arduino.	Anexo 1
	• Prototipo 2. Nodo concentrador con Raspberry-Pi.	Anexo 2
	• Prototipo 3. Visualizador de datos basado en web. Census Graph	Anexo 3
	• Prototipo 4. CO ₂ y O ₂ con LabView	Anexo 4
	• Manual de uso	Anexo 5

Objetivo general

Desarrollar un sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en el senso de cuatro indicadores de calidad del aire (CO₂, C_o, O₂ y COVs) en estacionamientos subterráneos.

1. Los avances de la investigación.

Antecedentes

El presente reporte técnico expone información sobre los avances, las fases de realización y el resultado de la investigación del proyecto “Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos”.

Este proyecto de investigación se planeó en tres etapas, centradas en los procesos de indagación, desarrollo y evaluación de los resultados. El proceso mismo se caracterizó por ser iterativo, con un enfoque sistémico y articulando procesos multidisciplinares con perspectiva interdisciplinar.

Las etapas de indagación y desarrollo concluyeron, logrando como resultado el desarrollo del sistema compuesto por 4 prototipos:

- Nodo sensor con Arduino (prototipo uno).
- Nodo concentrador con Raspberry-Pi (prototipo dos).
- Aplicación Móvil de Control y Sistema de Información. Census Graph (prototipo tres).
- CO₂ y O₂ con LabView (prototipo cuatro)

Como parte de las etapas de desarrollo del proyecto, se consideró un proceso de evaluación global en el estacionamiento subterráneo del Centro Comercial Sta. Fe. Sin embargo, por las dificultades de reunión del presente año como consecuencia de la epidemia de COVID-19, el equipo de desarrollo pospuso diversas actividades programadas para la evaluación. La situación ha hecho imposible la reunión en los espacios seleccionados para la verificación de la eficiencia y satisfacción de uso del sistema de sensores para así determinar el nivel de saturación en oxígeno de CO₂, CO₂ y COVs en estacionamientos subterráneos. Al posponer el trabajo de campo, no ha sido posible el desarrollo de dicha etapa, que pretendía verificar la calibración de los sensores y observar posibles fallas de funcionamiento in situ.

Tras la realización de evaluaciones parciales, valoramos que el resultado que hemos obtenido en el proyecto posee la calidad y cualidades esperadas por el equipo de trabajo. **Consideramos así que con el nivel de desarrollo alcanzado es posible establecer la finalización del proyecto, por lo que solicitamos se estime como concluido.**

La conclusión del proyecto permitirá que el equipo de investigadores pueda dar seguimiento a otros proyectos pendientes que bajo las condiciones actuales sí pueden ser abordados, y los estudiantes Becarios y Servicios sociales puedan concluir sus procesos administrativos relacionados con el Servicio social y/o cumplimiento del periodo de beca.

Así mismo, se decidió que en cuanto la situación lo permita, se someterá a aprobación un nuevo proyecto que considere como foco de interés, la evaluación del sistema de sensores que ahora se reporta, considerando en dicha evaluación:

- La utilidad del sistema para diversos entornos, en donde las fluctuaciones y/o concentración de CO₂ y O₂ ponga en riesgo la salud de estudiantes, trabajadores, clientes o visitantes de los espacios con estacionamiento subterráneo o áreas que lo requieran.
- Se desarrolle el sistema para su uso como equipo de laboratorio en el entorno arquitectónico para los procesos de análisis de la calidad del aire, medida en los procesos de Certificación LEED (Sustentabilidad).

Inicialmente, en el proyecto de investigación se establecía el desarrollo de material didáctico para mostrar el proceso y el resultado del equipo de trabajo, las ventajas del trabajo interdisciplinario (Ingeniería en computación, Ingeniería biológica, Diseño y Ergonomía) y el proceso de desarrollo de sensores a bajo costo. Este proceso se mostraría en un taller para estudiantes de la UAM-C. En acuerdo de los integrantes del equipo de desarrollo se tomó la decisión de optimizar los recursos (dinero, tiempo y recursos humanos) optando por concentrarnos en el desarrollo de un sistema de sensores más robusto (precisión y aumento de la facilidad de reproducción a bajo costo) por lo que el objetivo secundario del desarrollo de material didáctico se modificó.

Al dar mayor atención al desarrollo del sistema y no a los materiales para mostrar su proceso, el equipo de investigadores y estudiantes (becarios y servicios sociales) se vio beneficiado en tanto:

- El proyecto se amplió, enfocándose en el desarrollo del diseño del sistema de sensores.
- Se incrementó del número de Estudiantes Becarios y Servicios social que colaboraron en el proyecto. Participaron 8 estudiantes, 5 de CNI y 3 de CCD.
- Al incrementar las tareas a realizar, se integraron al proyecto perfiles de estudiantes que no habían sido considerados previamente.
- La formación de recursos humanos se fortaleció, pues los estudiantes integraron equipos de trabajo interdisciplinarios, involucrándose y aportando no sólo en sus áreas disciplinares, sino en el trabajo general del desarrollo del sistema de sensores.

- Se desarrolló una estrategia de trabajo común para los integrantes de perfiles profesionales diversos, lo que permitió entender mejor las interacciones entre las diversas tareas.
- Se generaron vínculos con diversos grupos de desarrollo interinstitucionales que posteriormente permitirán llevar a cabo la etapa de evaluación:
 - Laboratorio de Sustentabilidad del Posgrado de Arquitectura-UNAM.
 - Laboratorio de Macroergonomía del Posgrado en Diseño Industrial-UNAM.
 - Centro Comercial Santa Fe, con cuyo Administrador se acordó evaluar el sistema de sensores en el estacionamiento.
 - Los prototipos entregables desarrollados son:
 - Nodo sensor con Arduino (prototipo uno).
 - Nodo concentrador con Raspberry-Pi (prototipo dos).
 - Aplicación Móvil de Control y Sistema de Información CensusGraph (prototipo tres).
 - CO₂ y O₂ con LabView (prototipo cuatro)

2 Las etapas de investigación

Ser consciente de la realidad que rodea es siempre una ventaja para, de ser posible, actuar en consecuencia, sea para aprovechar una situación de oportunidad o para evitar o paliar una de desventaja o amenaza.

Existe una gran diversidad de situaciones de las que se podría sacar provecho de contarse mayor información, si ésta es oportunamente conocida y si se cuenta con alguna herramienta para actuar en sintonía con estrategias preestablecidas para tales ocasiones. Son vastos los ejemplos que ilustran tales situaciones, como los sistemas de alerta sísmica que, bajo ciertas condiciones¹, activan las alarmas sonoras que tras ser percibidas por los usuarios, les darán algunos segundos de anticipo para que puedan prepararse para afrontar un fuerte temblor.

Otro sistema quizá más cotidiano es el pronóstico del tiempo, que permanentemente monitorea, tanto a nivel global como local, diversos factores del clima que permiten anticipar con cierto nivel de certidumbre las condiciones del tiempo que prevalecerán en una zona determinada. Esta información generalmente es puesta a disposición de quienes la requiera, población en general, especialistas meteorólogos u organismos o entidades que dependen de dicha información, como aeropuertos, puertos navales, o para el público en general que desea simplemente saber si es recomendable secar la ropa al aire libre.

Quizá más importante que listar estos sistemas, resulta relevante analizar cómo funcionan tanto a nivel tecnológico (sensado o detección de señales, procesamiento de datos, despliegue de información) como de interacción (la forma en que los datos son desplegados, ya procesados en información) sea a solicitud o predeterminadamente; el nivel de detalle

¹ Tras la detección de movimientos telúricos de una magnitud dada en el epicentro, y calculando si la distancia y energía de las ondas de movimiento lo ameritan, disparan la señal de alarma a través de diversos medios como altavoces, señales de radio, tv y apps específicas.

necesario al que accederá cada tipo de usuario; si la visualización es en tiempo real de la situación o existe alguna dilación o anticipación; o si es deseable algún tipo de acción posterior por parte del usuario relacionada con el conocimiento de dicha información.

Este proyecto surge dentro del Laboratorio de las Ciudades en Transición (LABCIT) de la Universidad Autónoma Metropolitana, que tiene como objetivo general fomentar la formulación y desarrollo de proyectos multidisciplinarios a partir de la emergencia del paradigma de la sustentabilidad, para atender necesidades prioritarias de la sociedad en el contexto de las ciudades en transición. [13]

El proyecto base de este trabajo, torna alrededor de la calidad del aire interior, mismo que se considera aceptable cuando está libre de olores y polvo, cuando no hay demasiado ruido y cuando se tienen la temperatura y humedad adecuadas. Los argumentos aquí expuestos muestran el estado actual de progreso del proyecto.

Marco teórico.

Los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire

Los sistemas de monitoreo de la calidad del aire², que es el tipo de sistema que se desarrolla en este proyecto, detectan los niveles de diversas partículas y gases presentes en un entorno determinado.

Dependiendo de la finalidad para la que se utilice tal sistema puede, mediante el pre establecimiento de un rango de variabilidad de dichos niveles, es decir los umbrales inferior y superior del rango aceptable, enviar algún mensaje que alerte cuando dichos valores sean distintos a dicho rango. En el caso de los Compuestos Volátiles Orgánicos (COVs) o algún gas nocivo para la salud humana, por ejemplo, es indeseable un nivel elevado y, por tanto, se requiere conocer cuando se esté en tal situación o mejor aún, de manera anticipada, cuando se prevea se dará tal nivel elevado. En sentido inverso, un nivel bajo de Oxígeno (O₂) debería darse a conocer a la brevedad.

La interpretación de la información no siempre es tan clara, simple o evidente. Ello resulta de particular interés para este proyecto dado que uno de los objetivos que se persiguen es la participación de diversos usuarios, especializados y no especializados en la interpretación de la información provista por el sistema, y la consecuente toma de decisiones que se pudiese derivar. Por este motivo, no es suficiente la simple posibilidad de detección de un tipo de contaminante del aire para posteriormente expresar la cantidad de esa medición; resulta imperativo el procesamiento de los datos mediante estándares o criterios para expresarlos de manera adecuada, es decir, los umbrales superior e inferior deben basarse en valores específicos para cada gas o partícula específica y para periodos de tiempo relativos.

² En la ciudad de México se cuenta con el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), que es una herramienta analítica desarrollada para informar sobre los niveles de contaminación de manera fácil y oportuna a la población, de tal forma que funcione como un indicador de las medidas precautorias que debe tomar la población ante una contingencia atmosférica. [1]

Además de la variada aplicación de la información recabada por los sistemas de monitoreo, es necesaria la consideración del tipo de espacio que ha de monitorearse. Es así que no siempre aplica la metodología para la determinación de gases y partículas contaminantes; para grandes espacios abiertos es la calidad ambiental, (que considera variables ajenas al edificio como son la ubicación, el tráfico, el aumento de la población y la calidad del aire presente en el la zona geográfica de ubicación), así mismo, la calidad ambiental es alterada por la interacción de agentes físicos (como la temperatura, el viento, la radiación solar, ruidos), químicos (como sustancias y/o compuestos orgánicos e inorgánicos) y biológicos, produciendo diversos efectos y consecuencias sobre las personas, el medio físico-natural y los edificios [3].

Para los espacios confinados (viviendas, estacionamientos, oficinas) lo conducente es determinar la calidad del aire interior³, debido entre otros aspectos, a que se llevan a cabo diferentes actividades.

Si bien los contaminantes medidos o de interés pudieran ser los mismos para espacios abiertos como para confinados⁴, la tasa de dispersión y de dilución de los mismos, el tiempo que transcurre entre la exposición de la población y la aparición de los efectos o daños a la salud asociados en cada caso puede variar en gran medida.

Según datos de la OMS, los habitantes de las ciudades pasan entre el 58 y el 78 % de su tiempo en un ambiente interior que se encuentra contaminado en mayor o menor grado [2], por lo que la exposición prolongada, incluso a relativamente bajos niveles de concentración de contaminantes, pueden conducir a problemas de salud y confort de las personas que los habiten, situación que en casos extremos da como resultado el llamado Síndrome del Edificio Enfermo (SEE). La Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA), de Estados Unidos tiene incluida la calidad del aire interior entre los primeros cinco riesgos ambientales que pueden perjudicar la salud pública.

Consideraciones Relativas a la Valoración de la Calidad del Aire

En general, la valoración de los umbrales permisibles de concentración de contaminantes responde a la diversidad de los propios gases y la etiología que los genera y concentra, y evidentemente al interés o uso que se dará a los datos recabados, si es que el foco de atención está en la salud humana, principalmente lo relacionado al sistema respiratorio, o quizá en los efectos a largo plazo en el calentamiento global u otro efecto.

La EPA diferencia entre los estándares primarios y secundarios, fijando en los primeros límites destinados a proteger la salud pública, incluyendo a la población más sensible tal como asmáticos, niños y ancianos, mientras que, en los segundos, son para proteger el bienestar de la población y que, también, incluyen protección frente a una disminución de la visibilidad, daños a los animales, cosechas, vegetación y edificios. [5]

³ El término “aire interior” suele aplicarse a ambientes interiores no industriales.

⁴ Las concentraciones de contaminantes en el aire interior de estas estructuras [edificios de oficinas, edificios públicos como colegios, hospitales, teatros, restaurantes, etc. y viviendas particulares] suelen ser de la misma magnitud que las encontradas habitualmente al aire exterior, [aunque] mucho menores que las existentes en el medio ambiente industrial. [2].

Si se observa desde un punto de vista de calentamiento global, el registro de diversos gases emitidos a la atmósfera por una actividad dada es indicador del impacto medioambiental de la misma, y el registro general de la calidad del aire en grandes zonas geográficas puede interpretarse como favorables o no para, por ejemplo, limitar realización de esfuerzos físicos al aire libre. A un nivel más puntual, el registro de gases desde el punto de emisión, como en los escapes de los vehículos automotores o en industrias específicas, es la presencia de determinados volúmenes de gases lo que determina si el producto automóvil se encuentra dentro del rango aceptable respecto a sus emisiones.

Al analizar la calidad del aire en los estacionamientos, son los niveles de concentración de algunos gases y partículas (promediadas por unidad de tiempo) los que indican si la calidad del aire es adecuada, aunque también pueden considerarse valoraciones subjetivas sobre la percepción de confort o disconfort expresada por diversos usuarios.

Es de esperarse que la mayor proporción de gases contaminantes en un estacionamiento provengan del escape de los vehículos automotores que circulan en el mismo⁵, y su volumen y concentración es resultado del número de movimientos promedio por vehículo, del tipo de automotor (4 u 8 cilindros por ejemplo) y las condiciones de mantenimiento mecánico de los mismos. También existen otras fuentes de emisión de contaminantes Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs), tales como los materiales de construcción, mobiliario o pintura que recubren el inmueble; de manera semejante, los materiales de tapicería y recubrimientos con que están hechos los vehículos los emiten⁶, principalmente a temperaturas elevadas, como las presentes al permanecer bajo los rayos del sol por periodos prolongados. Finalmente, la concentración de gases al interior de los espacios cerrados como los estacionamientos, también es dependiente de las condiciones de viento y temperatura medioambiental y de la existencia y uso adecuado de sistemas de ventilación existentes que permitan dispersar o diluir esas concentraciones enviándolas hacia el exterior de los estacionamientos al proveer aire fresco al estacionamiento.

En el caso de estacionamientos, su tipificación general debe darse por su diseño (cubiertos abiertos, cubiertos cerrados, descubiertos); sus dimensiones (pequeños, medianos o grandes, 100, 1000 ó más de 1000m²); por su nivel de construcción (superficial o subterráneo); por su uso (residencial, de servicio (comercial, industrial, administrativo) o de punta (entradas o salidas coincidentes) [4]. Además de esas características, existen otras de importancia por su relación con otros espacios contiguos. Caso específico que se abordará en este proyecto es el de un estacionamiento de un centro comercial subterráneo, donde la presión del aire propio del centro comercial se mantiene más elevada (presión positiva) respecto a la presión existente en el espacio de estacionamiento (presión negativa), de tal

⁵ Aunque investigaciones refieren que cuando hay condiciones de flujo vehicular intenso en el exterior, las concentraciones de diversos contaminantes llegan a ser 10% más elevadas en espacios interiores que exteriores [8], pese a lo anterior, la literatura refiere también que el flujo vehicular en el exterior no debe ser considerado como factor determinante de la calidad del aire interior. La intensidad del tráfico no debe ser considerada como un factor dominante que afecte las diferencias en concentraciones de contaminantes en espacios semicerrados como los estacionamientos. [9].

⁶ Los niveles de VOCs que un automóvil nuevo emite son significativamente más elevados que los hoy recomendados para los ambientes interiores. Una revisión reciente limitada a tres automóviles encontró que los niveles totales de VOCs y formaldehído fueron altos y excedieron los niveles recomendados para edificios.

suerte que se evita el flujo de gases provenientes del estacionamiento al interior de la zona de comercios. Esta estrategia de diseño impacta en la capacidad de ventilación del área de estacionamiento, pues inherentemente acarrea aire viciado proveniente del centro comercial.

En casos donde el sistema de ventilación de los estacionamientos provee aire “fresco” del entorno exterior del inmueble, también se debe considerar la calidad “inicial” de dicho aire, mismo que variará por condiciones de tráfico de la zona, hora del día, clima, etc., y que afectará en la capacidad de dilución de las concentraciones de gases o partículas propias (generadas) del estacionamiento.

Utilidad de los Datos de Calidad del Aire

Para este proyecto el objetivo es desarrollar un sistema de sensado interactivo que alerte a través de la visualización y mapeo de datos de niveles de concentraciones inadecuadas de los gases dióxido y monóxido de carbono, oxígeno y compuestos orgánicos volátiles (CO₂, CO, O₂, COVs) al interior de estacionamientos subterráneos, para determinar los niveles de riesgo a la salud y tomar decisiones preventivas o correctivas basadas en datos objetivos.

Los criterios para determinar cuáles son los niveles umbral de determinados gases han sido establecidos en algunas normas (para el caso de CO, La Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SSA1-1993) establece un límite para la concentración en aire ambiente de 11 ppm, para un promedio de 8 horas. [6]

Relacionado con el CO₂, las normativas provienen de recomendaciones las NIOSH, fluctuando de valores normales entre 250-350ppm a valores que indican una ventilación inadecuada cuando alcanzan las 1000 ppm. Así también, el estándar ASHRAE 62-1989: 1000ppm indica que en edificios ocupados no deben excederse las 1000ppm de concentración de CO₂; El boletín 101 del Reino Unido menciona que los estándares para escuelas no deben exceder las 1500ppm en todo el día; OSHA indica 5000ppm, menciona una medición temporal promedio sobre cinco días de trabajo de ocho horas diarias, donde no deberían excederse las 5000ppm, lo que está en línea con las normativas alemana, japonesa, australiana y del Reino Unido. [7]

Es importante considerar que las concentraciones de CO₂, dado que tiende a desplazar el oxígeno del aire, son consideradas como un buen indicador del contenido de Oxígeno en el aire. No obstante, los valores de O₂ en el aire, particularmente la Densidad de Oxígeno en el Aire (DOA), y su variación abrupta en periodos de tiempo relativamente cortos, ha sido identificada como un factor de riesgo para la incidencia de enfermedades del corazón y accidentes cerebro vasculares [11].

En cuanto al contenido de COVs, se han localizado diversas normatividades aplicables a productos tales como operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en plantas de automóviles (NOM-123-SEMARNAT-1997); adhesivos, selladores y otros.(NOM-123-SEMARNAT-1998); gasolinas y recubrimientos arquitectónicos, y para vehículos (Tier II, Tier III, EPA-04 / EURO IV, EPA-10 / EURO VI, y EURO III), productos

de consumo y desodorantes, es decir, normatividad muy puntual aunque diversa, pero que no está directamente relacionado con espacios como el que se estudia en particular.

Dióxido de Carbono

Joseph Black un físico y químico escocés descubrió el dióxido de carbono alrededor de 1750, a temperatura ambiente (20-25°C), es un gas inodoro e incoloro, ligeramente ácido, soluble en agua, presenta alta disolubilidad (20 veces más que el oxígeno en la microcirculación) y no es inflamable. Es una molécula con la forma molecular CO₂, está ligada con dos átomos de oxígeno y una de carbono O=C=O. [1]

A pesar de que existe principalmente en su forma gaseosa, también tiene forma sólida y líquida. Solo puede ser sólido a temperaturas por debajo de los 78 °C. El dióxido de carbono líquido existe principalmente cuando el dióxido de carbono se disuelve en agua. El dióxido de carbono solamente es soluble en agua cuando la presión se mantiene. Cuando la presión descende intentará escapar al aire, dejando una masa de burbujas de aire en el agua. [2]

Propiedades del dióxido de carbono

Fórmula química: CO₂

Masa molecular: 44.0 g/mol

Gravedad específica 1.53 a 21°C

Densidad crítica 468 kg/m³

Concentración en el aire 370.3 * 10⁷ ppm

Estabilidad alta

Líquido presión <415.8 kPa

Sólido temperatura <-78°C

Punto de fusión: -56.6 a 5.2 atmósferas.

Solubilidad en agua (ml /100 ml a 20° C): 88

Constante de solubilidad de Henry 298.15 mol/kg*bar. [2]

El CO₂ es un gas incoloro e insípido, se producen en los procesos de respiración y también son emitidos por motores de combustión interna. El CO₂ es un indicador del nivel de contaminación del aire.

El dióxido de carbono se encuentra principalmente en el aire, pero también en el agua formando parte del ciclo del carbono, es la forma energéticamente más estable de carbono. Tras su absorción de la atmósfera, durante la fotosíntesis de las plantas, el dióxido de carbono reacciona con el agua utilizando energía solar. Esto convierte el dióxido de carbono en carbohidratos ricos en energía y se acompaña de una liberación de oxígeno. Los carbohidratos son tomados por los animales como sustratos que suministran energía para el metabolismo. Allí, o bien se convierten en biomasa o son descompuestos en dióxido de carbono y agua mediante la respiración, con lo que el dióxido de carbono resultante se emite a la atmósfera circundante. De la proporción de oxígeno absorbido al dióxido de carbono liberado, se puede calcular la tasa metabólica basal de un animal. Plantas o animales muertos

también liberan dióxido de carbono, que acaba en la atmósfera o en solución acuosa, cuando están siendo aeróbicamente degradados. [3]

Los seres humanos usamos el dióxido de carbono de muchas formas diferentes. El ejemplo más familiar es el uso en bebidas refrescantes y cerveza, para hacerlas gaseosas. El CO₂ liberado por la levadura hace que la masa se hinche.

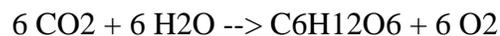
Algunos extintores usan CO₂ porque es más denso que el aire y puede cubrir un fuego, debido a su pesadez. Impidiendo que el oxígeno tenga acceso al fuego y como resultado, el material en combustión es privado del oxígeno que necesita para continuar ardiendo.

El dióxido de carbono también es usado en una tecnología llamada extracción de fluido supercrítico que es usada para descafeinar el café. La forma sólida del dióxido de carbono, comúnmente conocida como hielo seco, se usa en los teatros para crear nieblas en el escenario y hacer que cosas como las “pociones mágicas” burbujeen.

El papel del dióxido de carbono en los procesos ambientales

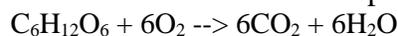
El dióxido de carbono es uno de los gases más abundantes en la atmósfera, juega un papel importante en los procesos vitales de plantas y animales, tales como fotosíntesis y respiración. Donde las plantas verdes transforman el dióxido de carbono y el agua en compuestos alimentarios, tales como glucosa y oxígeno. Este proceso se denomina fotosíntesis.

La reacción de la fotosíntesis es:



El inverso a la fotosíntesis es la respiración la cual transforma los componentes alimentarios combinándolos con oxígeno para obtener energía para el crecimiento y otras funciones vitales.

La reacción de la respiración es:



Estos procesos son muy importantes en el ciclo del carbón estando en equilibrio. La fotosíntesis domina durante la época más templada del año y la respiración durante la época más fría, por lo tanto, el dióxido de carbono en la atmósfera disminuye durante la época de crecimiento y aumenta durante el resto del año.

Influencia del dióxido de carbono en la alcalinidad

El dióxido de carbono puede cambiar el pH del agua, se disuelve ligeramente en ella para formar un ácido débil llamado ácido carbónico, H₂CO₃, con la siguiente reacción:



Donde el ácido carbónico reacciona ligera y reversiblemente en el agua para formar un catión hidronio, H_3O^+ , y el ion bicarbonato, HCO_3^- , en la siguiente reacción:



Este comportamiento químico explica por qué el agua, que normalmente tiene un pH neutro de 7, tiene un pH ácido de aproximadamente 5.5 cuando ha sido expuesta al aire.

Emisiones de dióxido de carbono por el hombre

Se ha liberado grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera debido a las actividades humanas aumentando drásticamente durante los últimos 150 años. Excediendo la cantidad absorbida por la biomasa, los océanos y otros sumideros.

Ha habido un aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de alrededor de 280 ppm en 1850 a 364 ppm en 1998, principalmente debido a las actividades humanas durante y después de la revolución industrial, que empezó en 1850. Los humanos han estado incrementando la cantidad de dióxido de carbono en el aire quemando combustibles fósiles, produciendo cemento y clareando terreno y quemando bosques. Alrededor del 22% de la actual concentración de CO_2 en la atmósfera existe debido a estas actividades humanas, considerando que no hay cambio en las cantidades naturales de dióxido de carbono.

Efecto invernadero

Dentro de la troposfera hay gases llamados gases invernadero. Cuando la luz del sol alcanza La Tierra, una parte es transformada en calor. Los gases invernadero absorben parte del calor y lo retienen cerca de la superficie terrestre, de forma que La Tierra se calienta a este proceso, se le conoce como **efecto invernadero**, fue descubierto hace muchos años y fue más tarde confirmado por medio de experimentos de laboratorio y medidas atmosféricas.

De manera natural este efecto regula la temperatura de la tierra, sin él la tierra se cubriría de hielo. La cantidad de calor en la troposfera depende de las concentraciones de los gases invernadero y de la cantidad de tiempo que estos gases permanecen en la atmósfera. Los gases invernadero más importantes son dióxido de carbono, CFCs (Cloro Fluoro Carbonos), óxidos de nitrógeno y metano. Desde el inicio de la revolución industrial en 1850, los procesos humanos han estado provocando emisiones de gases invernadero, tales como CFCs y dióxido de carbono. Esto ha causado un problema ambiental: la cantidad de gases invernadero ha aumentado tanto, que el clima terrestre está cambiando porque las temperaturas están aumentando. Esta adición anti-natural al efecto invernadero es conocida como **calentamiento global**. Del cual se cree que puede provocar un aumento de la actividad de las tormentas, derretimiento de las placas de hielo de los polos, lo que provocará inundaciones en los continentes habitados, y otros problemas ambientales.

Junto con el **hidrógeno**, el dióxido de carbono es el principal gas invernadero. Sin embargo, el hidrógeno no es emitido durante los procesos industriales. Los humanos no

contribuimos a la variación de la cantidad de hidrógeno en el aire, ésta cambia solo naturalmente durante el **ciclo hidrológico**, y como resultado no constituye una causa del calentamiento global.

El incremento de las emisiones de dióxido de carbono provoca alrededor del 50-60% del calentamiento global. Las emisiones de dióxido de carbono han aumentado de 280 ppm en 1850 a 364 ppm en los 90. Las actividades de combustión de combustibles fósiles para la generación de energía provocan alrededor del 70-75% de las emisiones de dióxido de carbono. El resto del 20-25% de las emisiones son provocadas por las emisiones de los tubos de escape de los vehículos. La mayor parte de las emisiones de dióxido de carbono derivan de procesos industriales en países desarrollados, tales como los Estados Unidos y Europa y cada vez más aumentan, se prevé que en este siglo carbono se dupliquen.

El dióxido de carbono permanece en la troposfera durante 50 a 200 años. La primera persona que predijo que las emisiones de dióxido de carbono procedentes de la combustión de combustibles fósiles y otros procesos de combustión provocarían un calentamiento global fue Svante Arrhenius, que publicó el estudio “Sobre la influencia en la temperatura del suelo del ácido carbónico en el aire” en 1896.

A principios de 1930 se confirmó que el dióxido de carbono atmosférico estaba realmente aumentando. En los 90, la teoría del calentamiento global fue ampliamente aceptada, aunque no por todo el mundo. Todavía se discute el que el calentamiento global esté realmente causado por el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera.

El tratado de Kyoto

Los líderes mundiales se reunieron en Kyoto, Japón, en diciembre de 1997 para considerar un tratado mundial que restringiera las emisiones de los gases invernadero, principalmente del dióxido de carbono, que se supone que causan el calentamiento global. Desafortunadamente, mientras que los tratados de Kyoto han estado funcionando por un tiempo, América está ahora intentando evadirlos.

El dióxido de carbono y la salud

El dióxido de carbono es esencial para la respiración interna en el cuerpo humano, donde el oxígeno es transportado a los tejidos corporales y el dióxido de carbono es tomado de ellos y transportado al exterior, además de ser un guardián del pH de la sangre, lo cual es esencial para sobrevivir. El sistema regulador en el cual el dióxido de carbono juega un papel importante es el llamado tampón carbonato. Consiste en iones bicarbonato y dióxido de carbono disuelto, con ácido carbónico. El ácido carbónico neutraliza los iones hidroxilo, lo que hará aumentar el pH de la sangre cuando sea añadido. El ion bicarbonato neutraliza los protones, lo que provocará una disminución del pH de la sangre cuando sea añadido. Tanto el incremento como la disminución del pH son una amenaza para la vida.

Aparte de ser un tampón esencial en el cuerpo humano, también se sabe que el dióxido de carbono tiene efectos sobre la salud cuando la concentración supera un cierto límite.

Los principales peligros para la salud del dióxido de carbono son:

- Asfixia. Causada por la liberación de dióxido de carbono en un área cerrada o sin ventilación. Esto puede disminuir la concentración de oxígeno hasta un nivel que es inmediatamente peligroso para la salud humana.

- Congelación. El dióxido de carbono siempre se encuentra en estado sólido por debajo de los 78°C en condiciones normales de presión, independientemente de la temperatura del aire. El manejo de este material durante más de un segundo o dos sin la protección adecuada puede provocar graves ampollas, y otros efectos indeseados. El dióxido de carbono gaseoso liberado por un cilindro de acero, tal como un extintor de incendios, provoca similares efectos.

- Daños renales o coma. Esto es causado por una alteración en el equilibrio químico del tampón carbonato. Cuando la concentración de dióxido de carbono aumenta o disminuye, provocando alteración del equilibrio, puede tener lugar una situación amenazante para la salud.^[4]

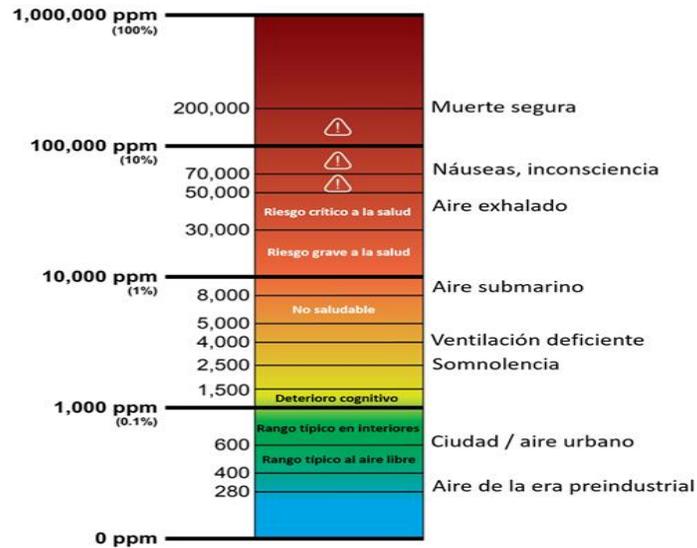
El dióxido de carbono gaseoso no es venenoso (concentración máxima admisible en el lugar de trabajo es de 9000 mg/m³); en el cuerpo, relativamente grandes cantidades de dióxido de carbono están siempre en circulación (en sangre venosa, 50-60vol %), de los cuales más de 700 g (por encima de 350 l) se respira diariamente. Sin embargo, en grandes cantidades puede tener un efecto sofocante porque desplaza oxígeno. El cuerpo humano puede soportar hasta 2.5vol% de dióxido de carbono en el aire sin daños mayores, incluso cuando se respira esta cantidad por horas. Cantidades de 8-10vol%, sin embargo, conducen a dolores de cabeza, mareos, presión arterial elevada y agitación; más de 10% vol a desmayos, calambres y presión arterial baja; y más de 15% vol a parálisis. La respiración en concentraciones muy altas, como las que se encuentran en la parte inferior de algunas bodegas o cuevas en fermentación (el dióxido de carbono es más pesado que el aire): rápidamente conduce a la muerte si no se puede suministrar oxígeno inmediatamente.^[3]

Aspectos de salud provocados por el incremento en la concentración de dióxido de Carbono (CO₂).

La salud se ve afectada principalmente por la reacción desfavorable del organismo humano al aumento de concentración de dióxido de carbono en el aire inhalado.

Las concentraciones elevadas de CO₂ en escala peligrosa, nos dice que a 200,000 ppm de CO₂ es una muerte segura a 100,000 ppm se presenta una toxicidad aguda e incluso la muerte si se expone por más 5 minutos, el cuerpo humano en 70,000 ppm presenta náuseas e inconciencia, con 50,000 ppm se debe limitar el tiempo de exposición a menores de 8 horas y evitar una intoxicación por el aire inhalado. El límite donde se presenta un riesgo crítico para la salud es en concentraciones mayores a 2,500 ppm. Síntomas como la somnolencia se tienen en concentraciones mayores a 1,000 ppm de CO₂, menores a 1,000 ppm se presenta un límite aceptable con alguna presencia de olores desagradables, un nivel aceptable oscila entre las 450 y 700 ppm, el aire fresco se encuentra entre 350 ppm, recomendado por ASHRAE.

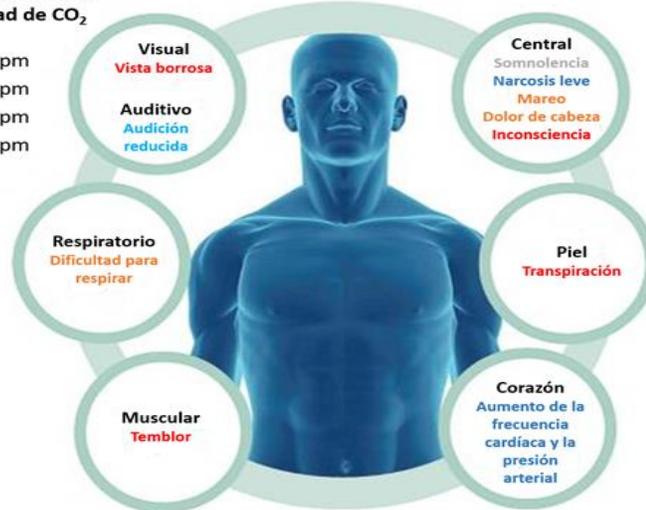
Escala de peligro de CO₂



Cuando la concentración de dióxido de carbono alcanza un valor comparable a la concentración de oxígeno en el aire (aproximadamente un 20%) puede causar **amenaza de vida**. Los principales sistemas del cuerpo humano que son dañados por la toxicidad de dióxido de carbono son el sistema central que presenta inconsciencia cuando se tiene un porcentaje mayor a 8%, en concentraciones menores puede presentar somnolencia, narcosis leve, mareos, confusión y dolor de cabeza. El sistema visual y auditivo se ve afectado presentando una pérdida de ambos en concentraciones entre 3% y 8%, el sistema respiratorio en concentraciones de 5% de CO₂ provoca dificultad al respirar, los músculos y la piel en concentración de 8% generan un temblor en el cuerpo y una alta transpiración. El sistema cardíaco presenta un aumento en el ritmo cardíaco y en la sangre, en concentración de 3% de CO₂ en el aire. Se puede observar en la siguiente imagen.

Principales síntomas de toxicidad de CO₂

- 10,000 ppm
- 30,000 ppm
- 50,000 ppm
- 80,000 ppm



Indagación para el diseño

La etapa de indagación permitió tener un acercamiento al problema, estableciendo las variables que podríamos controlar.

Se proyectó que la fase experimental se realizara en el estacionamiento subterráneo de un centro comercial localizado en la colonia Santa Fe de la CDMX. El Centro comercial se localiza en calle Guillermo González Camarena 1205, Santa Fe, 01210 Alvaro Obregon, CDMX; (a una cuadra de la Universidad Iberoamericana).



Mapa de ubicación

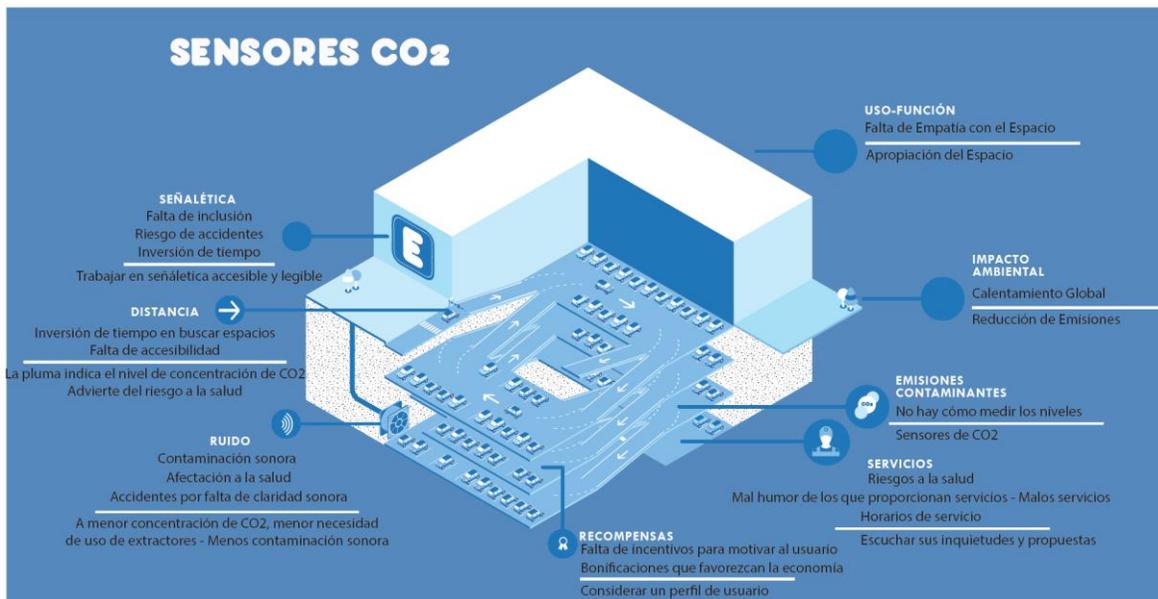
Para tal efecto se estableció contacto con los responsables de dicho inmueble, mismo que cuenta con certificado LEED (siglas en inglés de Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) del Consejo de Edificación Verde de Estados Unidos, por lo que se considera el desarrollo de este proyecto está en consonancia con su filosofía. Se formularon diversas hipótesis de trabajo que permitieron establecer criterios para abordar la fase experimental, partiendo de las configuraciones específicas del inmueble específico, pero que se considera podrían ser replicadas o modificadas en otras configuraciones de estacionamientos.

Una de las características por la que destaca este relativamente nuevo centro comercial (apertura en mayo 2014) es su configuración totalmente subterránea, siendo así el ingreso al inmueble desde el nivel de calle para ir descendiendo en los 3 ó 4 niveles comerciales y 4 niveles más de estacionamiento, de más de 1600 cajones de estacionamiento en total. Esta configuración hace que los vehículos atraviesen los tres niveles de espacios comerciales tanto en su recorrido de ingreso como egreso sólo para llegar al primer nivel de estacionamiento. Las rampas para ello son de tipo espiral continua, ambas colocadas a una orilla del espacio general del estacionamiento. Tal situación permite prever que la quema de combustible para el ingreso, pero sobre todo para el egreso del estacionamiento se concentre en esta área y, por consiguiente, posiblemente los gases resultantes.



Vista aérea del emplazamiento

Otro aspecto a destacarse es que la configuración de cada nivel de estacionamiento es muy regular, contando con una alineación longitudinal de “pasillos paralelos” que corren desde las espirales de entrada y salida hasta el fondo del propio estacionamiento. Paralelamente a estos pasillos, se ubican múltiples ventiladores/extractores en los costados de cada nivel de estacionamiento.



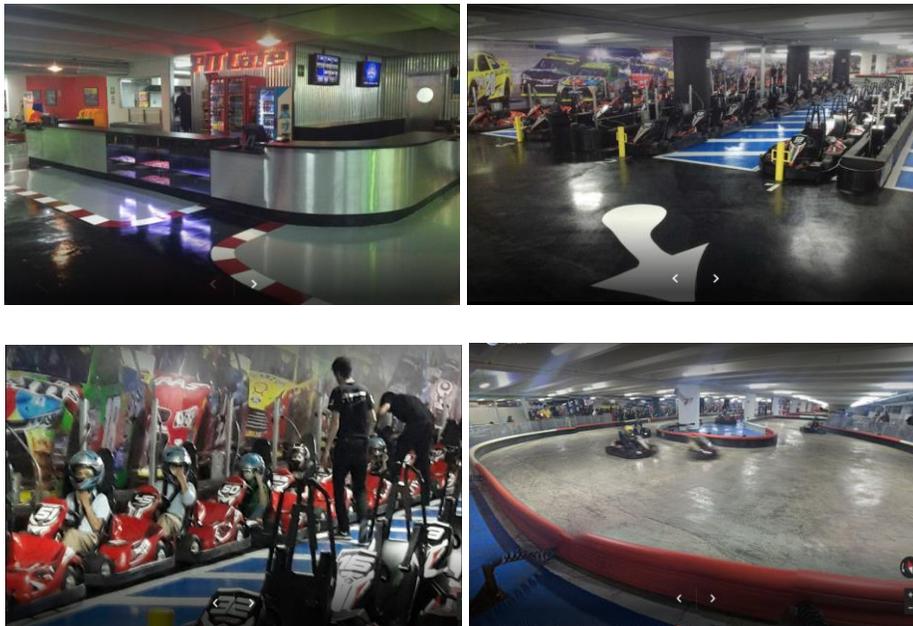
Esquema del estacionamiento del centro comercial

Ante tal configuración, se consideró la posibilidad de que existieran zonas con diferentes concentraciones de gases (microambientes con concentraciones importantes) producto de la combustión de los vehículos automotores. Así, se consideraron a los pasillos centrales, por ser la ubicación más distal de los ventiladores, que además son las zonas más próximas a las rampas de acceso y egreso, situación que obliga la circulación de la totalidad de vehículos que hagan uso del estacionamiento a través de estos pasillos.

De igual impacto puede ser la variación en el comportamiento temporal (horario, diario, semanal y/o mensual) en el comportamiento de los valores de concentraciones de los gases de interés en el estudio, por lo que sólo a través del sensado en un estudio longitudinal podría conocerse a profundidad si existen tales variaciones de manera previsible.

Por especificaciones de diseño del inmueble, existe la diferencia de presiones de aire entre el espacio comercial y los estacionamientos (presión negativa) que promueve que los gases de éste último no fluyan hacia el primero. De tal suerte, aquellos gases que algún vehículo automotor emita cerca de la puerta de transición entre los estacionamientos y el espacio comercial, deberán fluir desde ahí hasta el ventilador/extractor en funcionamiento más próximo.

Si bien se considera lógico que los consumidores en general permanezcan de manera transitoria en los espacios de estacionamiento de los centros comerciales, sólo al llegar y retirarse de los mismos, en este caso algunas personas permanecen por tiempos prolongados en el mismo, particularmente el 2º nivel de estacionamiento donde se ubica una pista para gokarts eléctricos. Si bien, puede considerarse éste como un “espacio interior dentro de otro espacio interior”. El lobby donde se ubica “el público acompañante” de los pilotos de gokarts, grupos numerosos de personas permanecen por tiempos aún no determinados, por lo que se considera oportuno realizar en esa ubicación un muestreo mediante los equipos que se pretenden desarrollar. Es importante considerar también la exposición prolongada y reiterada de los trabajadores del centro comercial, particularmente los relacionados con la administración del estacionamiento, si bien, la variabilidad de los perfiles de usuario es expuesta en el apartado siguiente.



https://www.google.com.mx/maps/uv?hl=es&pb=!1s0x85d200c4eed2d943%3A0x2ed8f2ceb30bb2e012m22!2m2!1i80!2i80!3m1!2i20!16m16!1b1!2m2!1m1!1e1!2m2!1m1!1e3!2m2!1m1!1e5!2m2!1m1!1e4!2m2!1m1!1e6!3m1!17e1!15!4shttp%3A%2F%2Fwww.k1speed.mx%2F santa-fe-centro.html!5sgarden%20santa%20fe%20go%20karts%20-%20Buscar%20con%20Google&imagekey=!1e10!2sAF1QipNplwcmKrewzvPbZ3QXidhYLxERC2dhaMcLBPw&sa=X&ved=0ahUKEwjQveqY3O7ZAhW6IMKHVO-C_AQoiIpwEwDg

Vistas generales del área de GoKarts

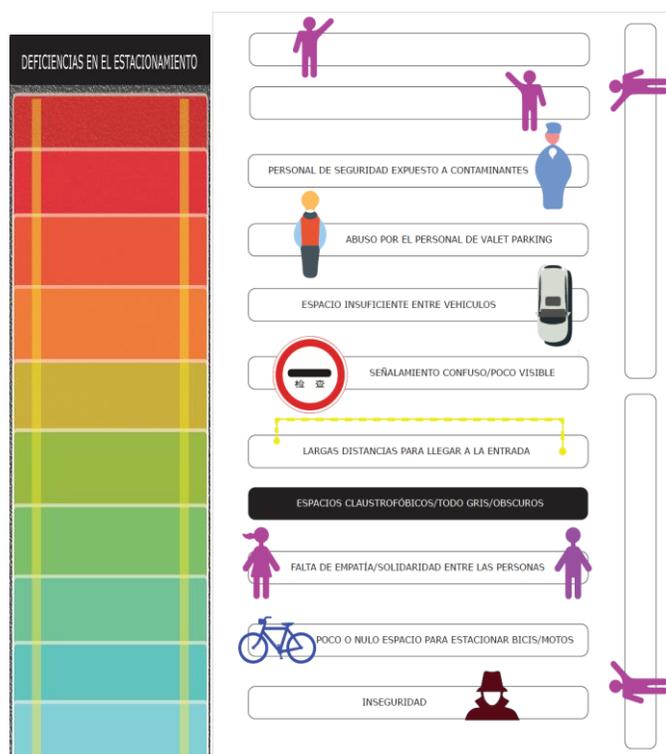
Resulta aquí importante resaltar la pertinencia de monitoreo directamente de la cantidad de aire de ventilación suministrada, pues ésta va en concordancia con el concepto de nivel de impacto de la calidad ambiental interior, una de las áreas específicas de la certificación LEED.

Desarrollo de herramientas

Para el desarrollo de esta etapa llevamos a cabo un Proceso de Diseño Centrado en el Usuario considerando la necesidad de

- a. Darles voz a usuarios reales,
- b. Centrar el diseño de los productos en los usuarios,
- c. Se definieron los diversos tipos de usuarios que tendrían interacción en los diversos momentos de maduración del sistema.
 1. Investigadores (desarrollo y análisis de datos)
 2. Administradores (toma de decisiones)
 3. Clientes (una de las probables aplicaciones del producto sería en estacionamientos de Centros comerciales).
- d. Se definieron las actividades y tareas que cada tipo de usuario podría realizar de acuerdo a su rol.
- e. Se definieron algunas condiciones generales a considerar como variables para precisar las características del entorno (estacionamiento) en el que se usará el sistema de sensores.
- f. La información emergente de este sistema fue usada como elemento de análisis para las características de los diversos sensores.

Se desarrollaron para tal fin, algunos instrumentos para aproximación a la población de estudio, como una gradación sobre las deficiencias percibidas en el uso del estacionamiento, que, interactuando con un círculo de experiencias sensorial, nos permitieron al equipo de trabajo aproximarnos a la problemática desde la perspectiva de percepción del usuario.



Instrumentos para identificar percepciones sobre el espacio analizado



Lo anterior están basados en la investigación de campo inicial, realizada al estacionamiento del centro comercial Garden Sta Fe. En ésta, pudo constatar que al ingresar o salir de tales niveles de estacionamiento, es evidente la distancia que se desciende o asciende desde la calle sólo para llegar al primer nivel de estacionamiento, atravesando así los tres niveles de espacios comerciales. Las rampas para ello son de tipo espiral continua, ambas colocadas a una orilla del espacio general del estacionamiento. Tal situación permite prever que la quema de combustible para el ingreso, pero sobre todo el egreso del estacionamiento, se concentre en esta área y, por consiguiente, posiblemente los gases resultantes.

Otro aspecto a destacarse es que se pudo apreciar es que la configuración de cada nivel de estacionamiento es muy regular, contando con una alineación longitudinal de “pasillos paralelos” que corren desde la espiral de entrada hasta el fondo del propio estacionamiento. Paralelamente a estos pasillos, se ubican múltiples ventiladores/extractores en los costados largos de cada nivel de estacionamiento.

Ante tal configuración, se podría prever que de existir concentraciones de gases producto de la combustión de los vehículos automotores, ésta con mayor probabilidad sería en los pasillos centrales, ubicación más distal de los ventiladores.

Se apreciaron dos comercios de posible interés para nuestro proyecto. El primero, si bien no conectado con el estacionamiento en sí, es un pequeño centro de corte láser, ubicado en pasillos centrales del nivel 2 del centro comercial. Pudo apreciarse que la configuración abierta del local deja claramente la posibilidad de que los gases expelidos por las máquinas de corte fluyan con facilidad hacia el pasillo general del centro comercial, pese a que cuenten con un sistema de chimenea que conduce el grueso de los gases hacia la azotea (jardín a nivel de calle) del centro comercial; cuestión por cierto que va en detrimento de en esa zona “verde”, pues la boca de tal chimenea se encuentra propiamente a nivel de la cara de los transeúntes.

El segundo comercio es una pista de goKarts “K1 speed México”, ubicado en el estacionamiento 2. La configuración y dimensiones de este establecimiento pudiera ser de interés para nuestros fines, en cuanto que ocupa los “pasillos centrales” del estacionamiento nivel 2. Deberá en todo caso confirmarse si los gases emitidos por los vehículos de este

establecimiento son expelidos a través de la puerta de entrada al mismo hacia el pasillo central de este nivel de estacionamiento, situación que pudiese aprovecharse para determinar la ubicación de nuestro sistema de sensado.

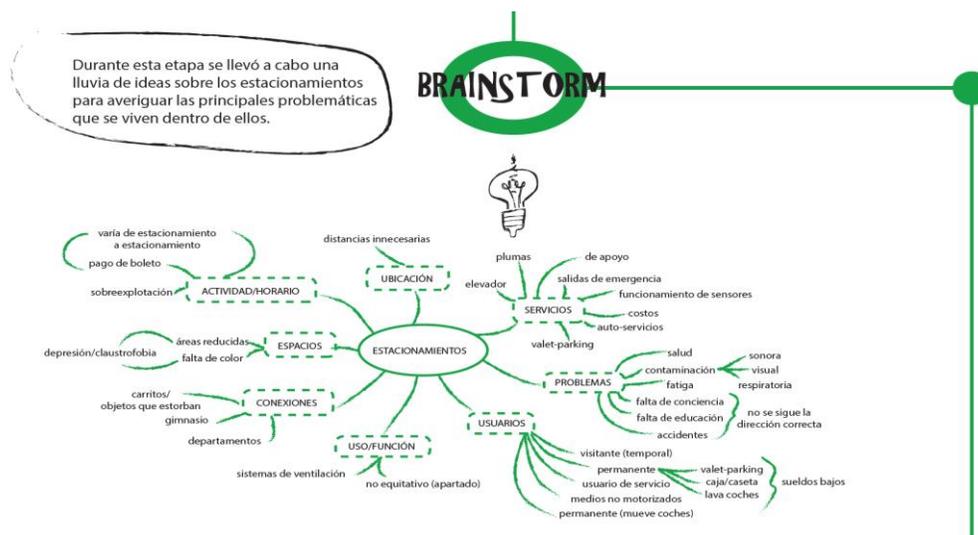
Pudo también apreciarse que la diferencia de presiones de aire entre el espacio comercial y los estacionamientos provoca que los gases de éste último no fluyan hacia el primero. De tal suerte, aquellos gases que algún vehículo automotor emita cerca de la puerta de transición entre los estacionamientos y el espacio comercial, deberán fluir desde ahí hasta el ventilador/extractor en funcionamiento más próximo (al momento de nuestra visita no se detectó ventiladores encendidos) o a la salida de aire de “ventilación natural” si existiera (no se detectó ninguna).

Si bien se considera lógico que las personas en general permanezcan de manera transitoria en los espacios de estacionamiento de centros comerciales (sólo al llegar y retirarse de los mismos), en este caso, las personas permanecen por tiempos prolongados en el mismo. Se pudo constatar que el lobby donde se ubica “el público acompañante” de los pilotos de go karts, puede ser de interés para nuestro proyecto pues es “un espacio interior dentro de otro espacio interior”, en los que en ambos se concentran gases producto de la combustión vehicular y que, coyunturalmente, grupos numerosos de personas permanecen por tiempos aún no determinados pero que difieren en gran medida de aquellos previstos para un estacionamiento subterráneo. (concepto relacionado directamente con el “nivel de impacto” de la calidad ambiental interior, según la norma LEED).

Lluvia de ideas (Brainstorm)

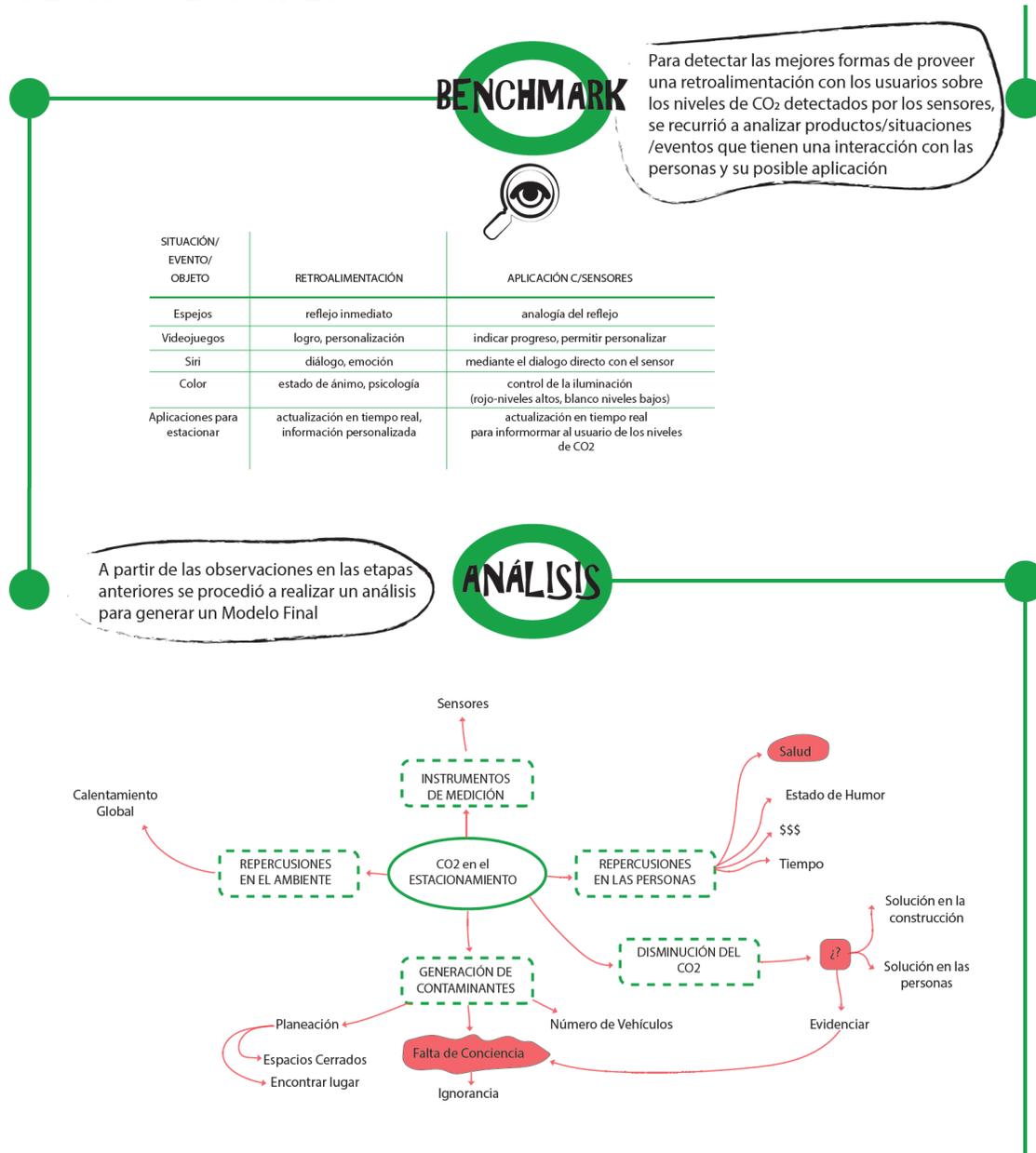
Esta actividad se centró en explorar todos los problemas que se experimentan en los estacionamientos, buscando ampliar la visión de áreas de oportunidad. Como tal, la actividad se desarrolló en cuatro grandes apartados: Lluvia de ideas (brainstorm), contraste con casos de referencia (benchmark), análisis y modelo final.

Durante la etapa de lluvia de ideas, se llevó a cabo una exploración de cómo son los estacionamientos, para averiguar las principales problemáticas que se viven dentro de estos.



Comparación contra referencias (Benchmark)

La segunda fase comprendió el estudio de productos, situaciones y eventos en donde hay una interacción con las personas, para elaborar posibles similitudes con las condiciones del proyecto que se desarrollaría, detectando las mejores formas de proveer una retroalimentación a los usuarios sobre los niveles de contaminación detectados por el sistema de sensado de calidad del aire.



Análisis

El ulterior análisis del material observado permitió generar un modelo conceptual final que, integrando diversas hipótesis de trabajo, sirvió de base para establecer criterios de aproximación en la fase experimental del proyecto; esto es, una indagación más profunda dirigida a desarrollar un sistema que respondiera al contexto y configuración particular del

inmueble, pero que, a su vez, contara con las características de replicabilidad y adaptabilidad para otras configuraciones de estacionamientos.

Perfiles de usuario

Diversos perfiles de usuario fueron detectados. Cada uno posee diferencias en cuanto a la forma de aproximarse a la información que el sistema ofrece, tanto a nivel de interés como de conocimientos para asimilar diversos tipos de la información; de igual forma, difieren los periodos de interacción dentro del inmueble, particularmente el estacionamiento, muchas veces de manera sustancial, por lo que se consideró oportuno analizar las interacciones específicas de cada perfil de usuario con el sistema desarrollado

- Investigador, durante el desarrollo de la propia investigación, sería el usuario principal de la interfaz del sistema de sensores.
- El Administrador del espacio comercial, sería el usuario primario una vez terminado el desarrollo de la investigación, pues será quien pueda influir directamente sobre los diversos actores para la toma de decisiones que salvaguarden la salud de los trabajadores o sobre el uso de la infraestructura, como serían los ventiladores del estacionamiento, tras tener información sobre la saturación de CO₂ y COVs en el estacionamiento.
- Los trabajadores del centro comercial, quienes por su labor permanecen estancias prolongadas y frecuentes en los espacios comerciales y presumiblemente frecuentan al estacionamiento. El sistema sería una herramienta para informarles sobre las condiciones de calidad del aire en el espacio que habitan en su jornada laboral.
- Los trabajadores del estacionamiento y la pista de GoKarts. Quienes por su labor permanecen la mayor parte de su jornada laboral al interior del estacionamiento. El sistema sería una herramienta para informarles sobre las condiciones de calidad del aire en el espacio que habitan en su jornada laboral.
- Los clientes del centro comercial, quienes presumiblemente permanecen estancias cortas y esporádicas en el estacionamiento y en los espacios comerciales. El sistema sería una herramienta para informarles sobre las condiciones de calidad del aire en el espacio que visitan.
- Los clientes de la pista de Gokarts. Quienes, por su la ubicación de la pista, permanecen al interior del estacionamiento durante su sesión de manejo y/o expectación. El sistema sería una herramienta para informarles sobre las condiciones de calidad del aire en el espacio que visitan.

El proceso de desarrollo

La confluencia de las pautas técnicas relativas a la medición de los diversos contaminantes de interés para el proyecto, junto con la configuración espacial y el uso particular que se da al inmueble en que se realizarán las observaciones fueron la base para plantear estrategias y lineamientos para el diseño general del sistema de monitoreo de calidad del aire, así como para su desarrollo y valoración a través de métodos empíricos experimentales.

De igual manera, y siendo de particular interés la posibilidad de interacción de los diversos tipos de usuario que habitan el espacio (clientes del centro comercial, trabajadores de los espacios comerciales, técnicos operarios del sistema de ventilación del inmueble) es que se han desarrollado protocolos para la caracterización del sistema de monitoreo deseable, su interfaz de uso, el tipo de información que deberá ser accesible para cada tipo de usuario. Con tal definición puntual, será factible establecer los requisitos que los sensores deberán cumplir en términos de frecuencia de sensado, ubicación espacial en las zonas más determinantes, sea por comportamientos temporales o estacionales anómalos o por la confluencia importante de personas, alcance de transferencia de datos inalámbrica, caracterización de la fuente de poder y almacenamiento de energía pertinentes, y sistemas de respaldo.

Tales protocolos tienen el objetivo de identificar mediante estrategias y métodos diversos las necesidades y expectativas de uso y modelos mentales que los tipos de usuario tendrán respecto al sistema de monitoreo, para promover el desarrollo de las interfaces de uso adecuadas para cada caso.

Las consideraciones respecto a tales interfaces implicaron que el sistema en su conjunto incluiría al menos algunos elementos tales como:

- Equipos sensores. Uno o más instrumentos diseñados para recolectar muestras de aire ambiente y que serán ubicados en zonas específicas dentro del estacionamiento, buscando identificar concentraciones de los gases de interés.
- Módulo de almacenamiento y procesamiento de datos. Que permitirán almacenar las bases de datos históricas, haciendo factible su procesamiento y análisis, para generar información útil para los diversos usuarios.
- Puntos de acceso al sistema. Que comprenderán elementos para el despliegue de la información (visual, auditivo u otro) y de interacción diferenciada para los diversos usuarios. La ubicación de los puntos de acceso, por tanto, podría ser en distintas zonas al interior del centro comercial (espacios comerciales, cuarto de control, estacionamiento).

Si bien, dichas consideraciones iniciales deberán ser evaluadas mediante aproximaciones coherentes con las visiones del diseño participativo, diseño emocional y de la responsabilidad social.

La propuesta consistió en construir al menos un prototipo que permite monitorear en tiempo real la concentración (ppm, %) de (CO₂, CO, O₂, y COVs). Dicho prototipo debe mostrar las concentraciones en la pantalla, registrar los datos en una memoria, además de permitir enviarlos vía WiFi a un dispositivo móvil.

El funcionamiento general del prototipo, a nivel de interfaz de usuario, tendrán las siguientes características:

Permitir el almacenamiento de bases de datos que muestren la evolución de los datos en el tiempo.

Contar con escalas de valores de datos aceptables, para realizar la acción de retroalimentación al usuario.

Método utilizado para el cálculo de indicadores de concentración de gases.

La concentración de gases y vapores se expresa como partes de vapor o de gas por millón de partes del aire contaminado (partes por millón = ppm.), en unidades de volumen por 10⁶ de volúmenes y usualmente se corrige para 25° C y 760 mm de Hg (presión). Variaciones en la expresión de partes por millón son, por ciento de volumen y partes por mil millones.

$$\text{ppm} = \frac{\text{partes de aire contaminado}}{\text{millon de partes de aire}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\begin{aligned} \text{p. p. m.} &= \frac{\text{litros}}{10^6 \text{litros}} & \text{p. p. m} &= \frac{\text{cm}^3}{10^6 \text{cm}^3} \\ \text{p. p. m.} &= \frac{\text{ft}^3}{10^6 \text{ft}} & \text{p. p. m} &= \frac{\text{m}^3}{10^6 \text{m}^3} \end{aligned}$$

Entonces es similar a:

$$\text{ppm} = \left[\frac{\text{volumen de contaminante puro}}{\text{volumen total}} \right] * 10^6 \quad \text{Ec. 2}$$

La concentración de los gases y vapores en algunas ocasiones también se expresa en unidades de peso por volumen, es decir, miligramos por metro cúbico. Para convertir miligramos por metro cúbico (mg/m³), una relación de peso por unidad de volumen, a una expresión de volumen por volumen (ppm.) debe emplearse la relación entre el volumen ocupado por una molécula gramo (mol) de un gas ideal a temperatura y presión ambiental (Volumen Molar).

$$\text{ppm} = \left[\frac{\text{Volumen Molar}(V_M)}{\text{Peso Molecular (PM)}} \right] * \text{mg}/\text{m}^3 \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{mg}/\text{m}^3 = \left[\frac{\text{Peso Molecular (PM)}}{\text{Volumen Molar}(V_M)} \right] * \text{ppm} \quad \text{Ec. 4}$$

$$P V = n R T \quad \text{Ec. 5}$$

Para la determinación del Volumen Molar se debe usar la ecuación de estado de los gases ideales que establece:

Donde:

P = Presión Local (lugar de trabajo), en mm de Hg

V = Volumen que ocupa el gas, en litros

n = Número de moles

R = Constante Universal de los gases

T = Temperatura Absoluta en K

Determinación de la constante R para un mol de un gas en Condiciones Normales, es decir, a la presión de una atmósfera (760 mm de Hg) y a la temperatura de 0°C Despejando R de la ecuación 5, tenemos:

$$R = \frac{P \text{ (mmHg)} \times V \text{ (litros)}}{n \text{ (mol)} \times T \text{ (K)}}$$

En condiciones normales un mol de cualquier gas ocupa un volumen de 22.4 litros. Para transformar la temperatura relativa en grados Celsius a temperatura absoluta en grados Kelvin se debe sumar a los grados Celsius 273.15 Por lo tanto, reemplazando valores tenemos que R es:

$$R = \frac{760 \text{ (mmHg)} \times 22.4 \text{ (litros)}}{1 \text{ (mol)} \times 273.15 \text{ (K)}}$$

$$R = 62.32 \left[\frac{\text{mmHg} \times \text{litros}}{\text{mol} \times \text{K}} \right]$$

Conocido el valor de R, se puede ahora determinar el volumen molar para cualquier gas contaminante a temperatura y presión ambiental y por lo tanto se puede determinar su concentración ambiental, tanto en ppm como en mg/m³. [5]

Métodos para el análisis de gases

Existen diversos métodos para el análisis de gases, desde métodos, sencillos basados en cambio de pH hasta sofisticados equipos, tales como los cromatógrafos de gases, los cuales pueden analizar mezclas complejas de gases con gran precisión y exactitud, sin embargo, son equipos costosos, por otro lado, existen sensores de gases los cuales permiten analizar un tipo de gas con una buena precisión a un costo asequible, con la ventaja de ser fácilmente adaptable a sistemas de adquisición de datos.

Adquisición de datos en tiempo real

Hoy en día, más compañías en la industria usan computadoras personales en sus plantas y laboratorios para probar sus productos, tomar mediciones y automatizar procesos. Al crear sistemas basados en una PC, los usuarios están aprovechando las ventajas de las tecnologías de la computación más recientes como tarjetas de adquisición de datos (DAQ) insertables, almacenamiento de datos a disco duro, ActiveX e Internet. El sistema de adquisición de datos y control en tiempo real no es fácil de lograr con una computadora personal, lo ideal sería contar con las mismas ventajas que ofrece una PC (interfaz gráfica, sistemas abiertos, conectividad, bajo costo) y la habilidad de crear aplicaciones lo suficientemente confiables para desempeñar el control de un sistema crítico. [6]

Los sistemas de adquisición de datos (DAQ) permiten la conexión de sensores a una computadora y registrar las señales en tiempo real. Aunque existen varios sistemas DAQ (National Instrument, LabJack, etc.) en este trabajo se optó por usar plataformas de código abierto tales como Arduino y Raspberry Pi.

Sensor de CO2 (K-33 ICB 10%, CO2meter)

El sensor de CO2 K33 ICB de infrarrojo no dispersivo (NDIR) es diseñado para aplicaciones biológicas y científicas que requieran medir hasta un 10% de dióxido de carbono en tiempo real, donde se mantienen niveles altos artificiales de CO2, puede tomar una muestra que contenga casi el 100% de humedad.

Rango de medición 0- 300,000 ppm (0-10%)

El tiempo de respuesta <20s con un flujo de 0.2 L/min de gas. [7]

Los sensores de infrarrojo NDIR, miden la concentración de dióxido de carbono basándose en una de las propiedades naturales de molécula de CO2, las cuales absorben la luz a una longitud de onda específica de 4.26 μm . Esta longitud de onda está en el rango infrarrojo (IR). Las altas concentraciones de moléculas de CO2 absorben más luz que las bajas concentraciones. [8]

Sensor básico de oxígeno (UV FLUX 25%, CO2meter)

El sensor básico de oxígeno 25% de flujo UV mide los niveles de oxígeno ambiente utilizando el principio de enfriamiento de la fluorescencia por oxígeno. Siendo un sensor que se beneficia de los bajos requisitos de energía asociados a los tradicionales dispositivos de detección electroquímicos y su principio de detección de no agotamiento aumenta su vida útil. El flujo UV se compensa internamente por presión y temperatura, lo que permite un funcionamiento preciso en un amplio rango ambiental sin la necesidad de componentes adicionales del sistema.

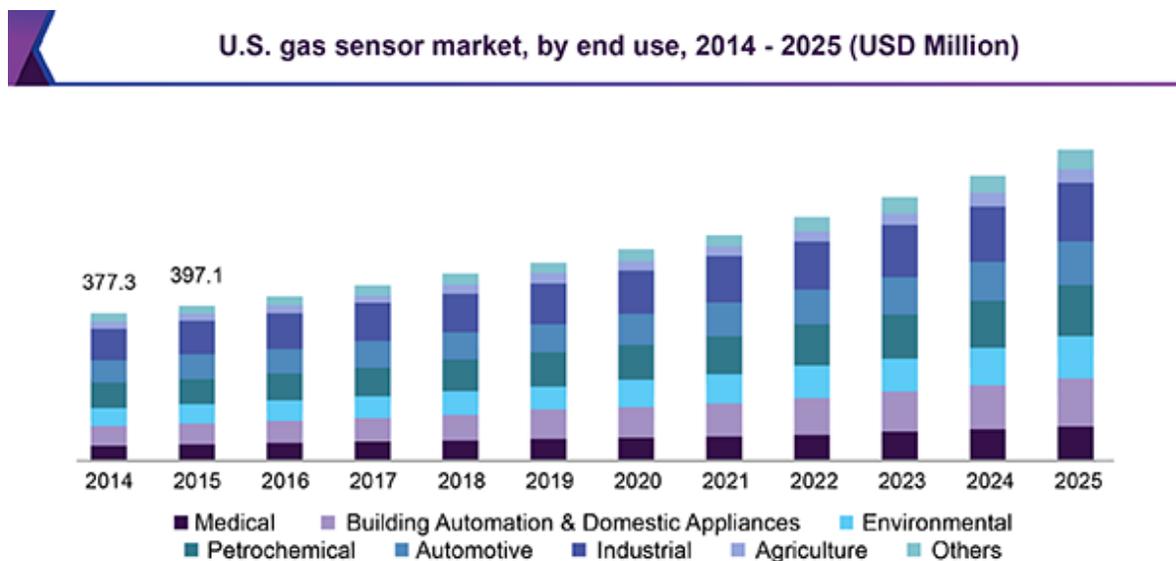
- El rango de medición de oxígeno es de 0- 250,000 ppm
- Tiempo de respuesta de T90 < 30 s (típica)
- Precisión de la temperatura: +/- 2 grados C
- Temperatura de funcionamiento: -30 ° C a + 60 ° C
- Rango de presión barométrica: 500 a 1200 mbar
- Voltaje: 4.5 - 5.5 VDC. [9]

El principio de enfriamiento de fluorescencia describe la transferencia electrónica de energía de un donante (cuya fluorescencia se apaga de manera eficiente con el oxígeno molecular) a un aceptor (que está menos afectado por el oxígeno). La banda de emisión de fluorescencia del donante muestra una buena superposición con la banda de absorción del aceptor. [10]

Perspectiva de la industria

Sensor de gas Tamaño del mercado, análisis de cuota y tendencias por producto, por tecnología, por uso final (médico, ambiental, petroquímico, automotriz, industrial, agrícola, otros), por región y pronósticos de segmento, 2018 – 2025.

El mercado de sensores de gas se valoró en USD 1,936.5 millones en 2017 y se estima que crecerá significativamente en los próximos siete años. Los sensores de gas se utilizan para medir la concentración de varios gases, como oxígeno, dióxido de carbono y óxido de nitrógeno. Estos sensores están equipados con un elemento sensor de alta sensibilidad que se alimenta a través de cables de conexión, que están conectados a los circuitos.



Los sensores de gas semiconductores se monitorean en tiempo real y ofrecen beneficios tales como bajo costo, tamaño compacto y alta precisión. Las regulaciones establecidas por los gobiernos en las regiones desarrolladas, como América del Norte y Europa, han exigido el uso de estos sensores en entornos potencialmente peligrosos. La adopción de sensores de gas electroquímicos es significativamente alta en industrias de uso final como la médica, industrial, ambiental y automotriz debido a características como la precisión y la eficiencia.

Los sensores de gas semiconductores se monitorean en tiempo real y ofrecen beneficios tales como bajo costo, tamaño compacto y alta precisión. Las regulaciones establecidas por los gobiernos en las regiones desarrolladas, como América del Norte y Europa, han exigido el uso de estos sensores en entornos potencialmente peligrosos.

Se espera que la capacidad de los sensores de gas inalámbricos para detectar gases explosivos o tóxicos desde una distancia segura aumente su demanda próximamente. Estos

sensores también ofrecen ventajas tales como una fácil instalación a un costo menor en comparación con los sensores cableados y la capacidad de crear una red de sensores. Se espera que los sensores de gas sean testigos de una alta demanda en los sistemas de control de HVAC.

Las nuevas tecnologías de sensores, como los detectores de foto ionización (PID's) miniaturizados para la medición, los sensores infrarrojos no dispersivos (NDIR) para CO₂ o gas combustible, y tipos adicionales de sensores electroquímicos para sustancias específicas, están disponibles para su incorporación en instrumentos portátiles multisensor.

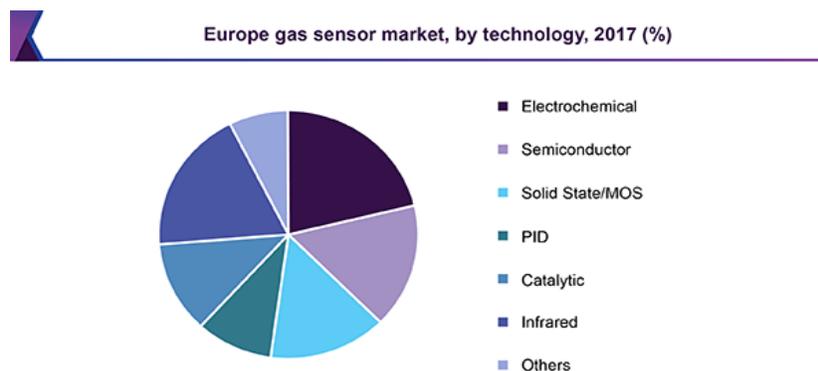
Actualmente, los problemas de calidad del aire interior y exterior están impulsando el uso de sensores de gas en la automatización de edificios comerciales, así como en el monitoreo ambiental personal. Los costos de la mayoría de los sensores de gas utilizados en aplicaciones industriales son costosos y el tamaño del paquete es demasiado grande. Por lo tanto, la necesidad de sensores de gas de tamaño compacto y menos costosos es un factor crítico del mercado actual de sensores de consumo.

El deseo de un monitoreo continuo y en tiempo real está impulsando el mercado en miniaturización, redes / comunicaciones, administración de energía y confiabilidad.

Las tendencias hacia sistemas miniaturizados, fabricación de sensores impresos y electrónica flexible para los mercados de consumo impulsan el mercado de sensores de gas.

Perspectivas tecnológicas

Los sensores de gas electroquímicos facilitan la detección de la concentración de gas tóxico oxidando el gas objetivo en el electrodo y midiendo la corriente resultante. La cantidad de gas presente es directamente proporcional a la corriente generada. La alta demanda de sensores electroquímicos puede atribuirse a su capacidad para mejorar la calidad del aire interior, controlar la emisión de gases nocivos y detectar gases de vertederos, etc. Sin embargo, no son adecuados para condiciones de baja temperatura o alta presión.



La tecnología de detección de gases por infrarrojos es capaz de medir una amplia variedad de gases, incluidos el metano, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos volátiles (VOC), como el acetileno, el benceno y el butano, entre otros. Sin embargo, el costo de estos sensores es significativamente mayor en comparación con los sensores electroquímicos.

Perspectivas de uso final

En 2017, el segmento industrial dominó el mercado debido a las estrictas regulaciones del gobierno para garantizar la salud y seguridad laboral de los trabajadores.

Los sensores de gas en el sector médico se utilizan principalmente para medir COV, que pueden tener efectos adversos para la salud tanto a corto como a largo plazo. Se utilizan para controlar la concentración de oxígeno en el gas de anestesia en incubadoras y ventiladores.

Ideas regionales

La región europea dominó el mercado en 2017. Esto se puede atribuir al aumento de las inversiones en TI y los avances en tecnologías de sensores en la región. La creciente demanda de sensores que se pueden integrar en dispositivos de mano ha fomentado avances en la tecnología.

Perspectivas de la cuota de mercado del sensor de gas.

Entre los principales jugadores que dominan el mercado se encuentran AlphaSense, City Technology Ltd., Dynament Ltd., Figaro Engineering, Membrapor AG, Nemoto & Co., Ltd., Robert Bosch LLC, ABB Ltd., Siemens AG y GfG Europe Ltd. [11]

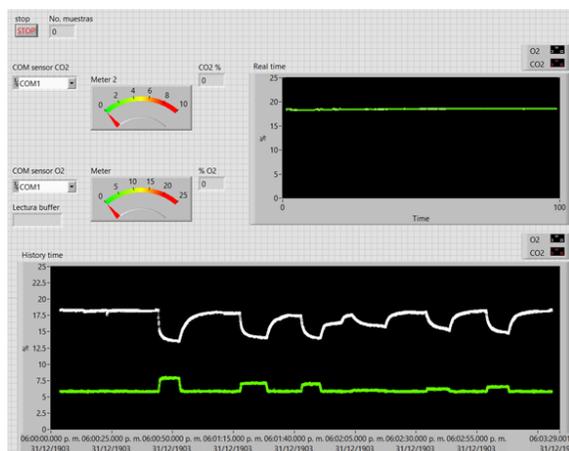
Productos (prototipos) desarrollados en el proceso

Durante el proyecto se desarrolló un sistema de productos compuesto por cuatro productos (prototipos) en un proceso de diseño lineal (consecutivos) ya que era necesario desarrollar uno y al concluir su desarrollo se obtenían los datos para desarrollar el siguiente.

- Nodo sensor con Arduino (prototipo 1).
- Nodo concentrador con Raspberry-Pi (prototipo 2).
- Aplicación Móvil de Control y Sistema de Información. Census Graph (prototipo 3).
- CO₂ y O₂ con LabView (prototipo 4)

Prototipo CO₂ y O₂ con LabView

Se realizó un primer prototipo del sensor de CO₂-O₂ conectado a través de un puerto USB a una PC, usando como interfaz un programa desarrollado en LabView para poder visualizar los datos. Esta primera visualización se realizó para verificar el correcto funcionamiento de los sensores, además servirá para verificar la calibración del prototipo de CO₂-COVs.



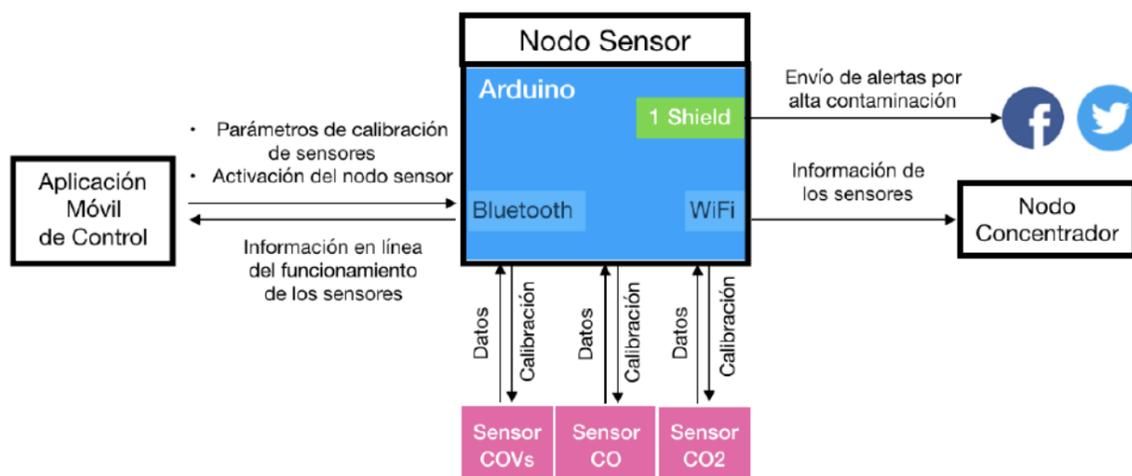
Visualización de datos en pantalla

Análisis de los componentes del sistema de sensado Interactivo

Nodo Sensor

El Nodo Sensor es un módulo cuyos objetivos son:

- Obtener información de las variables de ambiente (CO₂, CO, O₂ y COVs) a través de los sensores para enviarla al Nodo Concentrador.
- Enviar mensajes de alerta a las redes sociales cuando se detecten niveles de contaminación altos.



Flujo de información nodo sensor

El Nodo Sensor está conformado por los siguientes componentes de hardware:

- Una tarjeta microcontroladora Arduino Uno, que es un tablero para microcontroladores basado en el ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital, 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. En esta tarjeta serán conectados y controlados los componentes listados más adelante.



- Una interfaz de comunicación Bluetooth HC05



- Una interfaz de comunicación WiFi Esp8266 (ver Figura 5) que permitirá enviar la información de los sensores desde la Tarjeta Microcontroladora Arduino hasta el Nodo Concentrador.



- Una interfaz de comunicación 1Sheeld + IOS/Android Phone Bluetooth., para conectar la Tarjeta Microcontroladora Arduino con un teléfono móvil que, a su vez, podrá conectarse a Internet para enviar alertas a las redes sociales avisando de altos niveles de contaminación en el estacionamiento.



- Sensor Grove Air Quality v1.3 (ver Figura 7). Este sensor detecta gases nocivos, como monóxido de carbono, alcohol, acetona, diluyente, formaldehído, etc.



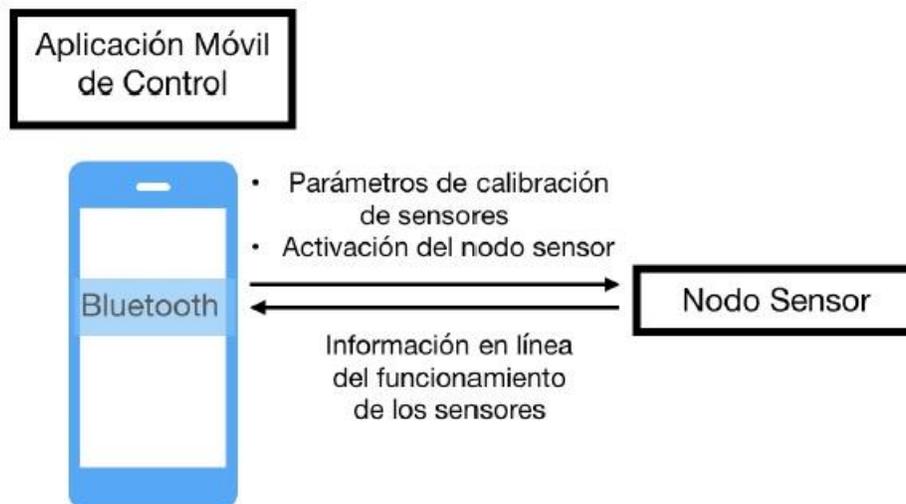
- Sensor de dióxido de carbono MHZ16 NDIR para medir la concentración de CO2 mediante la intensidad de la luz infra roja recibida.



Desarrollo de la App móvil y sistema de información Aplicación Móvil de Control

La Aplicación Móvil de Control es un módulo que permitirá:

- Enviar los parámetros de calibración de los sensores al Nodo Sensor.
- Activar el Nodo Sensor remotamente mediante el Bluetooth del celular en el que esté instalado.

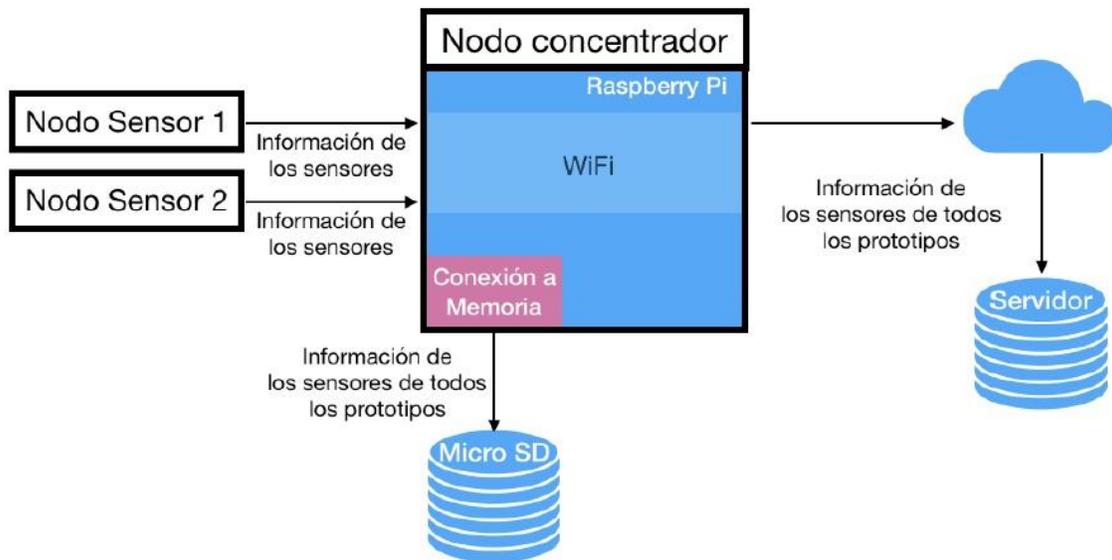


Flujo de información de la Aplicación Móvil de Control.

Nodo Concentrador

El Nodo Controlador es un módulo cuyos objetivos son:

- Almacenar localmente en una tarjeta MicroSD la información enviada por Nodos Sensores.
- Enviar remotamente la información a la base de datos del servidor si la transmisión de la información genera que la red del establecimiento se sature o se alente, el envío al servidor tendrá que hacerse a una hora que se sepa que disminuye el tráfico de datos, de lo contrario, podrá hacerse en tiempo real.



Flujo de información del Nodo Concentrador.

El Nodo Concentrador está conformado por los siguientes componentes de hardware:

- Raspberry Pi 3 Modelo B+ (ver Figura 11). Tiene un procesador de cuatro núcleos a 1,4 GHz de 64 bits, LAN inalámbrica de doble banda, Bluetooth 4.2 / BLE y ethernet.
- Envía la información de todos los Nodos Sensores a la base de datos del servidor remoto. Permite generar una aplicación para administrar la información almacenada en la tarjeta MicroSD.

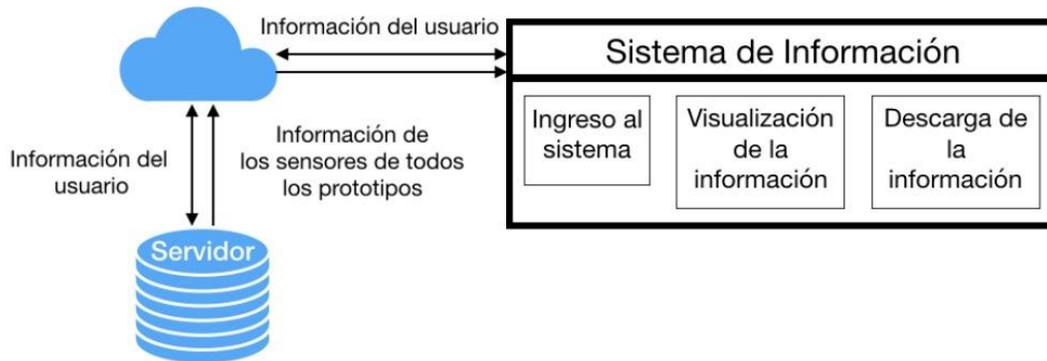


- MicroSD de 32GB (ver Figura 12). Esta tarjeta almacenará la información recibida de los Nodos Sensores.



Sistema de Información

El Sistema de Información es un módulo que permitirá el acceso a la información de los sensores almacenada en la base de datos de un servidor remoto de manera concurrente por distintos usuarios. En adelante, al Sistema de Información se le llamará Sistema.



Flujo de información del Sistema de Información.

El Sistema requiere de una base de datos que tendrá dos tablas: Usuario y Gas Sensado.

En la Tabla Usuario se guardará la información de los usuarios que se registren en el Sistema. En la Tabla Gas sentido se guardará la información de los sensores proveniente del Nodo Concentrador.

La base de datos se alojará en un servidor ubicado en las instalaciones de la UAM Unidad Cuajimalpa. (a) (b)

Usuario		
PK	User	varchar(10)
	Password	varchar(40)
	Email	varchar(40)
	Telefono	varchar(10)
	Nombres	varchar(20)
	Apellidos	varchar(20)
	TipoUser	varchar(10)

(a)

Gas sentido		
PK	ID_LEC	timestamp
	CO	float
	CO2	float
	O	float
	COVs	float
	ID_PROTOTIPO	int

(b)

Tablas de la base de datos: (a) Usuario y (b) Gas Sensado.

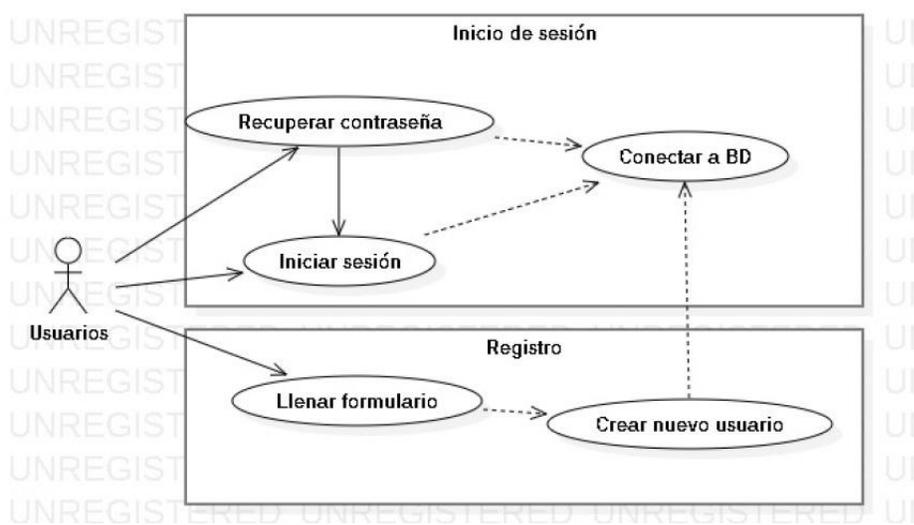
El Sistema se podrá acceder desde cualquier dispositivo con acceso a Internet y permitirá que los usuarios tengan las siguientes interacciones:

- Ingreso al Sistema.
- Visualización de la información adquirida mediante los Nodos Sensores.
- Descarga de la información adquirida mediante los Nodos Sensores en archivos para su posible manipulación fuera del Sistema.

Ingreso al Sistema

La primera interacción de los usuarios con el Sistema es a través de la página Inicio de Sesión, en la cual podrán crear una cuenta nueva o acceder a una cuenta ya existente. En el caso de una cuenta ya existente, si el usuario olvida su contraseña podrá recuperarla.

La página de Inicio de Sesión tendrá las siguientes funcionalidades.



Casos de uso del Inicio de sesión y registro de usuarios.

A. Ingreso al Sistema

Para ingresar al Sistema se le solicitará al usuario que indique su Usuario y Contraseña. Con esta información, el Sistema buscará el rol del usuario. Dependiendo del rol, el sistema abrirá una sesión en donde podrá visualizar la información que le corresponda al usuario. En caso de que el usuario no esté registrado, se le dará la opción de registrarse. Si olvidó su contraseña se le da la opción de recuperarla dentro del mismo menú.

B. Conexión a la base de datos

Internamente, el Sistema creará una conexión en tiempo real a la base de dato para acceder a la tabla donde se registra la información de los usuarios.

C. Registrar un nuevo usuario

El objetivo de registrar un nuevo usuario es crear una nueva instancia en la Tabla Usuario. Cada usuario tendrá un rol dependiendo de sus necesidades.: Investigador, Administrador y Cliente (futuro proyecto).

La información que se le solicita al usuario es: Usuario, Contraseña, Correo, Teléfono, Nombres y Apellidos. El rol por defecto es el de cliente. Sólo el encargado del sistema podrá crear el usuario administrador. A su vez, sólo el usuario administrador podrá dar de alta a usuarios investigadores.

Recuperar la contraseña

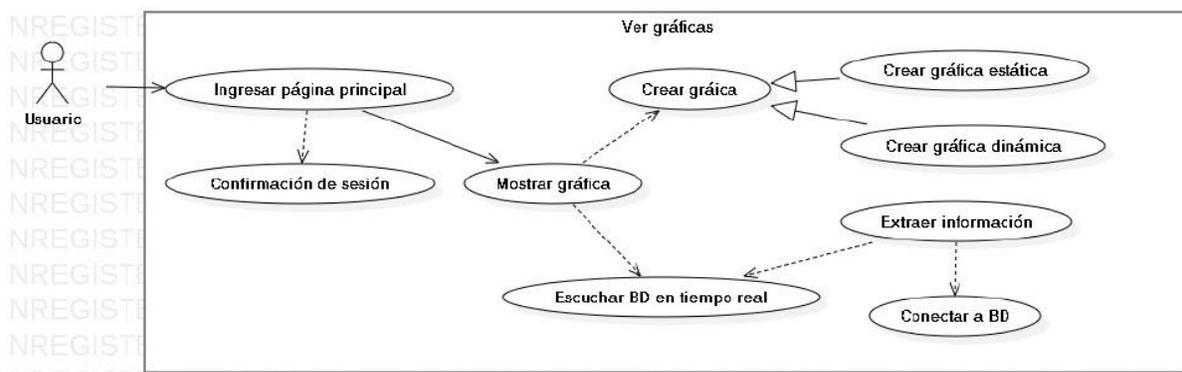
En caso de que el usuario olvide su contraseña, el Sistema podrá ayudarle a recuperarla. Para ello, el Sistema le envía un correo con una liga para darle oportunidad al usuario de cambiar su contraseña.

Visualización de la información

El usuario podrá visualizar la información de la lectura de los sensores dependiendo de su rol. La Figura 15 muestra los casos de uso de la visualización de la información. El usuario Investigador podrá ver las gráficas en tiempo real (gráficas dinámicas) o en un rango de fechas determinado (gráficas estáticas). Si las gráficas se visualizan en tiempo real, éstas serán actualizadas de forma dinámica cada segundo. También podrá visualizar las últimas 10 instancias de las lecturas del Nodo Concentrador en una tabla. Por otro lado, el usuario Cliente podrá ver una representación de la calidad del aire contaminado mediante dibujos que expresen de manera resumida la información de los sensores.

Descarga de información

Los usuarios con rol de Investigador podrán descargar el histórico de la información sensada en archivos con formato .cvs o .json.



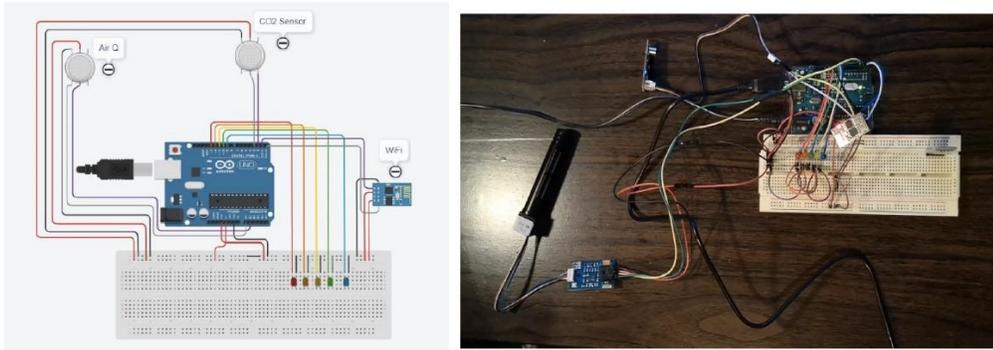
Casos de uso de la descarga de datos.

Desarrollo del sistema

A continuación, se indica el desarrollo del Sistema de Sensado Interactivo.

Nodo Sensor

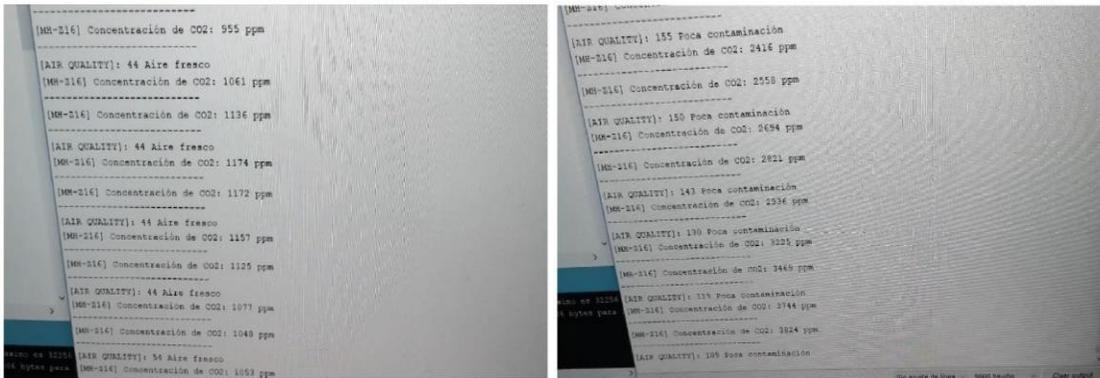
Diagrama y modelo funcional de conexión de los componentes de hardware del Nodo Sensor.



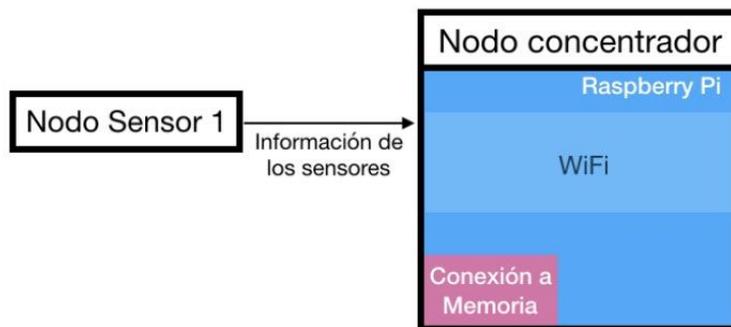
Conexión de componentes nodo sensor

Para probar el funcionamiento del sistema, se registraron las lecturas de los sensores antes y después de alterar el ambiente. Para alterar el ambiente, se le acercó un incienso encendido al sensor de COVs GroveAir v1.3 y se respiró directamente sobre el sensor de CO2 MHZ16 NDIR.

En las siguientes fotografías se muestra el programa en ejecución en donde se puede apreciar el cambio de los valores de ppm de una imagen a otra. Se muestran valores que rondan entre 1000 y los 1100 ppm, esto se debe a que en ese lapso de tiempo aún no se le acercaba el incienso al sensor, ni se le respiraba al otro. De igual forma, se ve que los valores aumentan hasta 2400 y 3800 ppm, este incremento se dio cuando los sensores detectaron los gases de prueba.



Información del nodo sensor con y sin alteraciones del ambiente



Esquema de comunicación entre nodo sensor y nodo concentrador

Instalación de sistema operativo en Raspberry.

En la Raspberry Pi 3 Modelo B+ se realizó la instalación de la versión más reciente del sistema operativo Raspbian, el cual es una distribución de Linux especializada para estos tipos de mini ordenadores, con ello se configuraron todos los servicios que dispondrá para fungir como Nodo Concentrador, tales como:

- Configuración de tarjeta de red inalámbrica.
- Configuración de entorno gráfico.
- Configuración de Python.

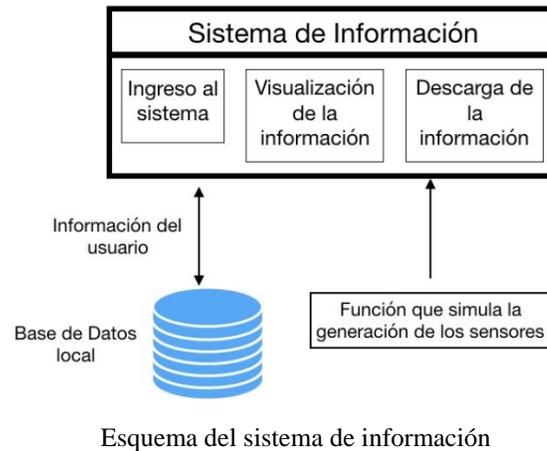
Creación de programa para iniciar comunicación mediante socket en Raspberry Pi.

Se realizó un programa que crea un socket de tipo servidor, el cual mediante una IP y un puerto determinado dentro de una red local estará a la espera de cualquier conexión por medio de un socket de tipo cliente que tenga la misma dirección IP y puerto del concentrador, una vez que se entabla comunicación entre sockets, se acepta el paso de mensajes desde el cliente para posteriormente convertirlos a cadena de texto y mostrar dicho mensaje desde el concentrador. Cabe destacar que el programa maneja todo tipo de errores que pueden resultar a causa de cualquier tipo de desconexión por parte del cliente, por lo que si esto llega a suceder el concentrador no interrumpirá su ejecución y simplemente volverá a esperar en la red hasta que otro cliente se conecte.

Asignación de IP estática dentro de una red local en Raspberry Pi.

Se configuró una IP fija dentro de la red local en el sistema operativo Raspbian por medio de la edición del archivo dhcpd.conf, ya que por defecto el sistema asigna direcciones IP dinámicas.

La base de datos está construida y es alimentada con una función que simula los datos del Nodo Concentrador. Actualmente se aloja localmente, al igual que el Sistema de información. Falta generar el ambiente del servidor para que el Sistema y la base de datos sean accesibles por Internet y que soporten la concurrencia de usuarios e información.



El Sistema permite que los usuarios tengan las siguientes interacciones:

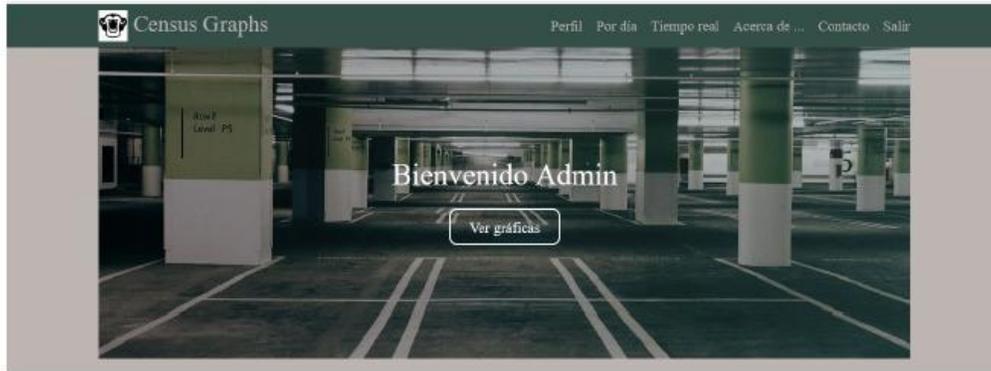
Ingreso al Sistema

Se muestra la pantalla para ingresar al Sistema, donde se le solicita al usuario que indique su usuario y Contraseña.



Pantalla de inicio de sesión del Sistema de Información

Con esta información, el Sistema se conecta a la base de datos y busca el rol del usuario en la Tabla Usuario. El sistema abre una sesión dependiendo del rol del usuario.



Pantalla de bienvenida

Se muestra en la siguiente pantalla de registro, el proceso que debe seguirse en caso de que el usuario no esté registrado. Esto crea una nueva instancia en la Tabla Usuario. La información que se le solicita al usuario es: Usuario, Contraseña, Correo, Teléfono, Nombres y Apellidos. El rol por defecto es el de Cliente. Falta incluir que sólo el usuario Administrador podrá dar de alta a usuarios Investigadores.



Pantalla de registro de un nuevo usuario.



Pantalla de olvido de la contraseña.

Visualización de la información adquirida mediante los Nodos Sensores.

En la siguiente imagen, se puede observar una gráfica lineal en tiempo real que se actualiza de forma dinámica cada segundo. La gráfica es interactiva, de tal modo que cuando se acerca el mouse a un punto de la gráfica, se muestra la información de esa medición y la hora en la que se obtuvo el dato.



Visualización de información de los niveles de CO2 en una gráfica lineal.

A continuación, se muestra una alternativa para visualizar los datos, una tabla que muestra los últimos 10 datos completos (hora de censado, CO, CO2, O y COVs) ingresados a la base de datos en tiempo real.

Fecha	CO	CO2	Oxígeno	COVs
2019-07-01 13:05:34	4502.77	3949.82	4230.27	2863.31
2019-07-01 13:04:53	3463.98	3052.81	2648.63	3165.54
2019-07-01 13:03:56	5367.98	5505.54	7381.41	7708.26
2019-07-01 13:03:46	5534.26	7006.84	6486.98	5298.86
2019-07-01 13:03:36	4090.57	861.671	2549.5	6060.55
2019-07-01 13:03:26	5039.67	1834.22	3199	7207.6
2019-07-01 13:03:16	7386.16	7754.53	3641.97	5431.61
2019-07-01 13:03:06	4834.33	3443.2	3360.57	1535.42
2019-07-01 13:02:56	1320.53	3872.39	3210.74	6163.19
2019-07-01 13:02:46	6771.89	2405.97	1205.39	2707.6

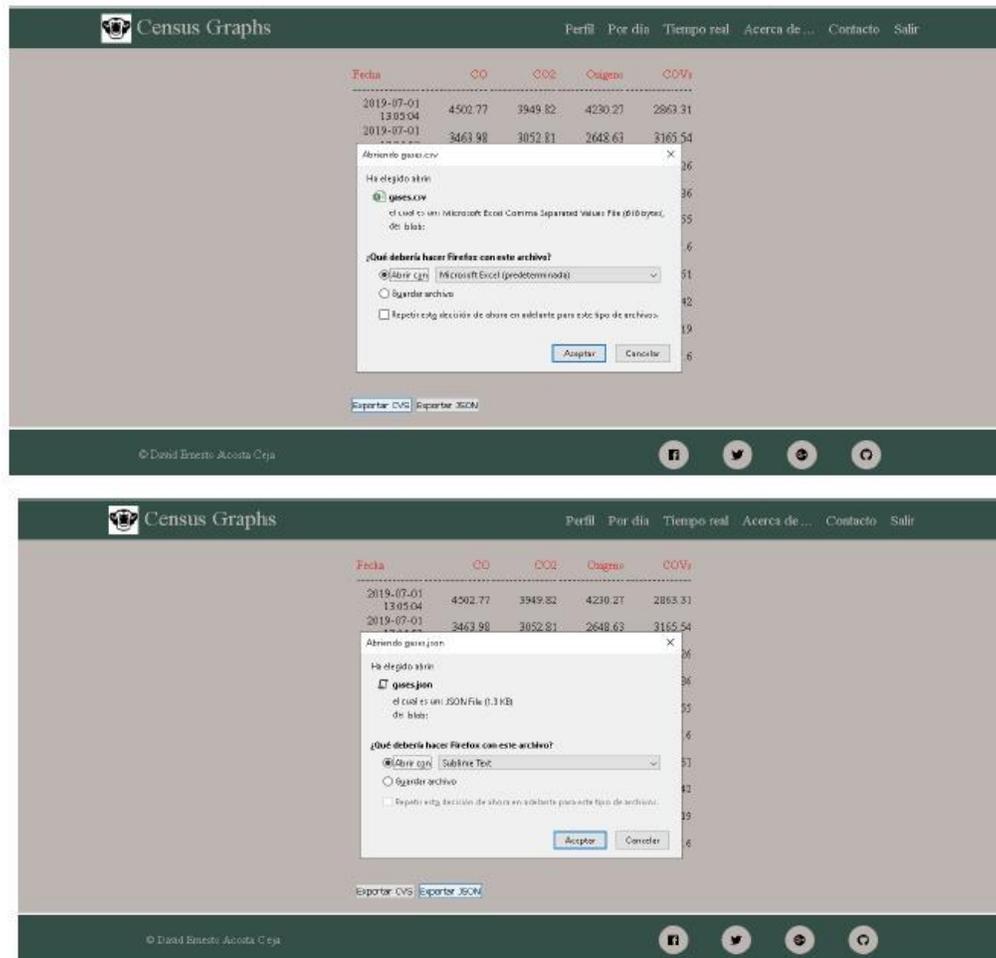
Exportar CSV Exportar JSON

© David Ernesto Acosta Ceja

Visualización de información en una tabla

Descarga de la información

En las siguientes imágenes se muestra la forma en que un usuario con rol de Investigador puede descargar la información en un archivo .csv. También muestra la descarga de la información en un archivo .json para poderla utilizar en otra aplicación fuera del Sistema.



Pantallas de descargar la información en un archivo .csv y .json; sesión investigador

Desarrollo estructural de los prototipos físicos

De manera paralela a las fases de desarrollo del proyecto que implicaron la indagación sobre tecnologías para el análisis de gases (que concluyó que las tecnologías de sensores controlados mediante Arduino serían apropiadas) y del desarrollo de la App móvil y el sistema de Información, fueron desarrollados los prototipos físicos tanto del nodo Sensor (1) como del Nodo concentrador (2).

Tal sincronización fue planeada para poder visualizar a nivel sistémico las posibles interacciones de uso que se presentarían durante las actividades de instalación, servicio y propiamente de monitoreo, vinculándolas con la mayor antelación posible, con las características formales, estructurales, estéticas y comunicativas de los prototipos físicos.

El proceso involucró entre otras actividades, la descripción funcional (para qué sirve), tridimensional y técnica (interconectividad con otros componentes, requerimientos térmicos, eléctricos, etc.) de los componentes que conformarían cada nodo físico. Así, se establecieron diversas propuestas formales de contenedores o carcasas, donde pudiesen alojarse los componentes que conformarían cada prototipo; analizando los requerimientos funcionales, de seguridad, apariencia, armado y mantenimiento en las diversas fases de uso a que serían sometidos.

Con tales requerimientos presentes, las propuestas fueron seleccionadas y diseñadas a nivel de detalle, para conformar un sistema de estructuras y carcasas que, teniendo funciones específicas para cada prototipo (sensor y concentrador) permitieran integrarlas en lo posible, tanto formal como tecnológicamente, para minimizar el número de partes del sistema.

Memoria de Diseño de estructuras y carcasas

Tanto el prototipo 1, Nodo Sensor como el prototipo 2, Nodo concentrador, fueron desarrollados con un mismo formato de carcasa, esto es, se moduló el diseño de la misma dadas las diversas semejanzas en requerimientos de los elementos que las componen, tanto a niveles volumétricos, como de situaciones de instalación, acceso y mantenimiento.

Los requerimientos que ambos prototipos tuvieron en común fueron:

- Contar con una fuente de energía aislada de la red eléctrica del inmueble, que permitiera realizar las mediciones y/o transmitir la información, ello con la finalidad de poder realizar mediciones de campo en ubicaciones variables, no definidas con antelación, sino durante el trabajo de campo.
- Contar con un sistema de retroalimentación hacia el usuario, mediante la visualización codificada con luces led, tanto del estado del módulo sensor como de la energía de su fuente de poder.
- Evitar materiales o elementos que interfieran en la transmisión de datos del sistema.
- Tener una apariencia anodina, no llamativa, para evitar en lo posible captar la atención de las personas en general.
- Permitir el armado, calibración y mantenimiento del prototipo de manera sencilla.
- Poder instalarse de manera no permanente en columnas del inmueble, sin perforar o intervenir las mismas.

Adicionalmente el prototipo 1, nodo sensor, tuvo como requerimiento:

Contar con un sistema de absorción y distribución de aire, desde el exterior del prototipo y dirigiéndolo de manera constante y controlada hacia los elementos sensores de los distintos gases estudiados.

Mientras que el prototipo 2, nodo concentrador, requirió de un

Contar con un sistema de ventilación forzada, necesario para refrigerar el componente electrónico Raspberry Pi.

El diseño de los prototipos conllevó diversas fases para su consecución, entre las que destacan:

- Definición general del funcionamiento del sistema interactivo
- Definición de requerimientos para cada componente del sistema.
- Indagación y exploración de elementos electrónicos, neumáticos y físicos útiles para el desarrollo del prototipo.
- Elaboración de bocetos, modelos rápidos, planos y/o archivos digitales para la exploración de posibles configuraciones formales y funcionales del prototipo.
- Elaboración a escala real y en materiales definitivos de moldes, modelos, tarjetas PCB y piezas funcionales (impresiones 3D) para el armado e integración de los componentes del prototipo.

Componentes físicos desarrollados para los prototipos 1 y 2

Prototipo 1, nodo sensor	Prototipo 2, nodo concentrador
Carcasa	Carcasa
Soporte principal	Soporte principal
Soporte secundario	Soporte secundario
Base Superior	Base Superior
Seguro para fuente de poder	Seguro para fuente de poder
Base Inferior	Base Inferior
Botón para activación del indicador de carga de la fuente de poder	Botón para activación del indicador de carga de la fuente de poder
Base de giro del botón de activación de fuente de poder	Base de giro del botón de activación de fuente de poder
Conector eléctrico a la fuente de poder, salida 12V	Conector eléctrico a la fuente de poder, salida 12V
Soporte para ducto neumático	
Cápsula para sensores de gases	
Circuito o tarjeta PCB desarrollada exprofeso para el nodo sensor	

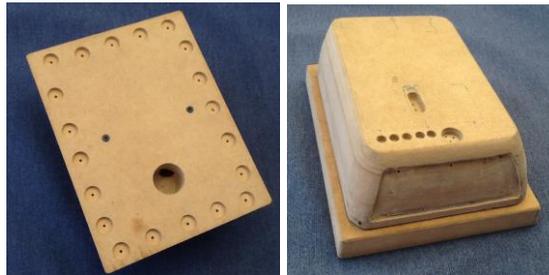
Tales componentes físicos complementan y dan soporte a los componentes comerciales que cada prototipo utiliza para su funcionamiento.

Prototipo 1, nodo sensor	Prototipo 2, nodo concentrador
Microcontrolador Arduino UNO	Microprocesador Raspberry Pi 3 Modelo B+
interfaz de comunicación WiFi Esp8266	Adaptador de tarjeta MicroSD
Módulo de comunicación Bluetooth HC-05	Ventilador para Raspberry Pi
sensor de gases de CO2	Botón de reinicio
sensor de gases de COVs (AirQ)	Cable extensor de tres vías
Bomba de aire 12V	LED
Banco de energía (powerbank)	Conectores electrónicos diversos
Resistencias	
LEDs	
Conectores electrónicos diversos	

Molde para termoformado

Para el desarrollo de las carcasas, se realizó un molde para termoformado, conformado en MDF.

Tanto el molde como las carcasas termoformadas fueron realizadas dentro de las instalaciones del Laboratorio de Apoyo a la Docencia de la Unidad.



Molde para termoformado

Carcasas

Conformadas en Poliestireno negro calibre 100, termoformado y suajado; con estructura de dos piezas, un soporte principal, donde se ubican los componentes electrónicos, sensores, bomba de aire, fuente de poder, etc., y un soporte secundario, que permite colocar de manera no permanente al prototipo sensor en columnas del inmueble.



carcasas termoformadas y suajadas

Soporte secundario

Realizado en MDF de 10mm, Es una interfaz sobre la que se fija el soporte principal del prototipo. Su función es la de establecer una superficie adecuada tipo socket, en la que el soporte principal se instalará. Su diseño basado en cintas de polipropileno y hebillas de rápido ensamble, permite sea instalado alrededor de las columnas del inmueble. Cuenta con un sistema de ajuste integrado por cuñas o cilindros de diversos diámetros que permite adaptarse a distintos diámetros de columna del inmueble.



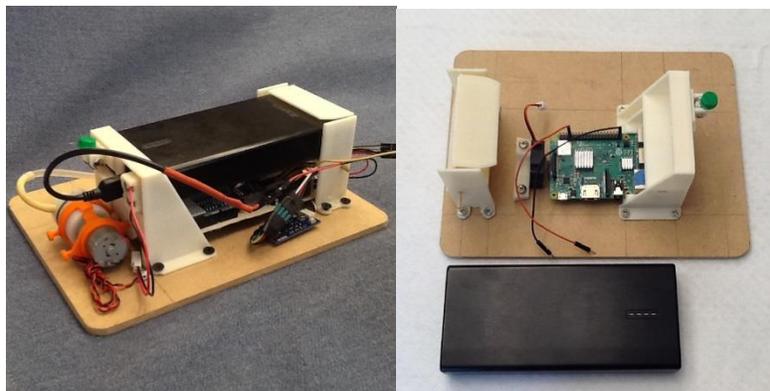
Soporte secundario



Detalles en vista superior y frontal de los elementos de ajuste para diferentes diámetros de columnas del soporte secundario.

Soporte principal

Realizado en MDF de 5.5 mm, sobre el que se ubican diversos elementos de impresión tridimensional impresos para ubicar de manera compacta y funcional los componentes de cada prototipo.

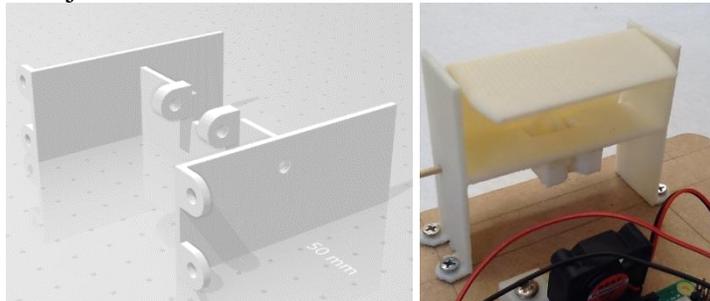


Soporte Principal prototipos 1 y 2

Elementos de impresión tridimensional

Base Superior

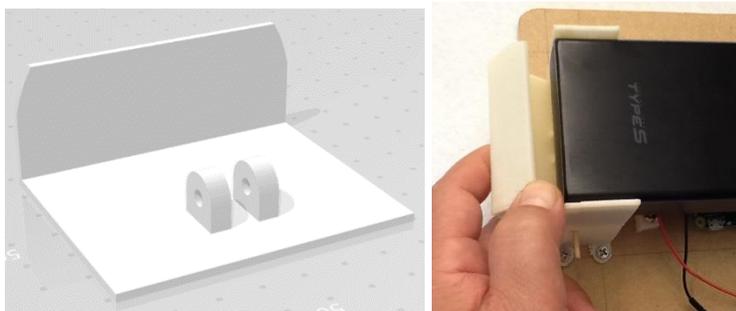
Realizada mediante impresión 3D en ABS blanco, es un elemento estructural que, en conjunto con el seguro para fuente de poder, permite ajustar la fuente de poder (power bank) en su posición de trabajo.



Base superior (archivo digital e impresión 3D)

Seguro para fuente de poder

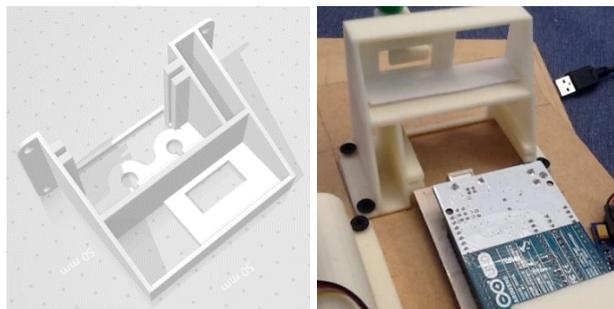
Realizada mediante impresión 3D en ABS blanco, es un elemento estructural que está abisagrado mediante un eje y resorte de torsión, ubicado en la base superior. Su función es la de mantener fija la fuente de poder y permitir retirarla para su recarga o mantenimiento.



Seguro para fuente de poder (archivo digital e impresión 3D)

Base Inferior

Realizada mediante impresión 3D en ABS blanco, es un elemento estructural que trabaja en conjunto con la base superior para permite albergar la fuente de poder (power bank). También es el elemento estructural para mantener en posición diversos elementos electrónicos, neumáticos y mecánicos (bomba de aire, tarjeta PCB, botón de activación del powerbank).



Base inferior (archivo digital e impresión 3D)

Soporte de ducto neumático

Realizado mediante impresión 3D en ABS blanco, es un elemento estructural para mantener en posición el ducto neumático de salida de los gases sensados, dirigiéndolos hacia el circuito PCB para promover su ventilación y facilitando el flujo adecuado del aire ya analizado.



Soporte de ducto neumático (archivo digital e impresiones 3D)

Botón para activación del indicador de carga de la fuente de poder

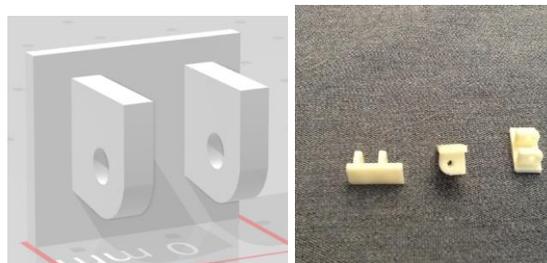
Realizado mediante impresión 3D en ABS blanco, es un elemento abisagrado sobre su base de giro, ubicados ambos en la base inferior. La función de este botón es la de accionar desde fuera del prototipo sensor el botón del indicador de carga de la fuente de poder, (por ser éste un elemento comercial, cuenta con un botón para ello en la base inferior de su cuerpo).



Botón para activación del indicador de carga de la fuente de poder (archivo digital e impresiones 3D)

Base de giro del botón de activación de fuente de poder

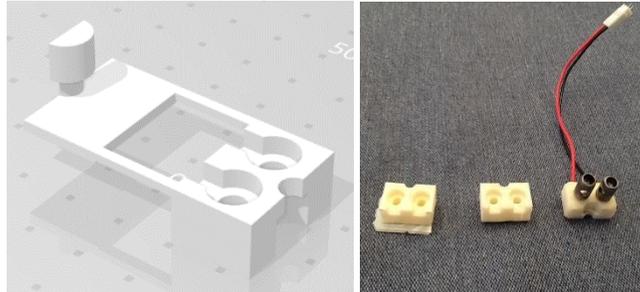
Realizada mediante impresión 3D en ABS blanco, es un elemento adherido a la base inferior, que permite un movimiento de giro del botón que acciona la fuente de poder, para identificar la carga remanente en la misma.



Base de giro del botón de activación de fuente de poder (archivo digital e impresiones 3D)

Conector eléctrico a la fuente de poder, salida 12V

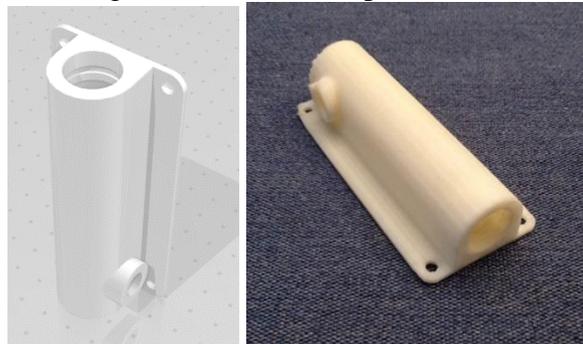
Realizado mediante impresión 3D en ABS blanco, es un elemento mecánico que permite ubicar de manera coordinada los dos polos de salida eléctrica a 12 V del prototipo. Tal toma de corriente es necesaria para alimentar a la bomba de aire del sistema.



Conector eléctrico a la fuente de poder, salida 12V (archivo digital e impresiones 3D)

Cápsula para sensores de gases

Realizada mediante impresión 3D en ABS blanco, es un elemento estructural y neumático que alberga los sensores de gases de CO₂ y COVs permitiendo el ingreso del aire aspirado por la bomba de aire desde el interior del estacionamiento, distribuyéndolo de forma controlada entre dichos sensores para una correcta detección de las concentraciones de dichos gases. Posterior a ello, permite la salida del aire ya sensado que, por su flujo constante, es utilizado como método de refrigeración de los componentes electrónicos del prototipo.



Cápsula para sensores de gases (archivo digital e impresión 3D)

Los elementos estructurales ya mencionados, en conjunto sirven para ubicar, fijar y hacer viable la manipulación de los componentes electrónicos, neumáticos y mecánicos del prototipo sensor.

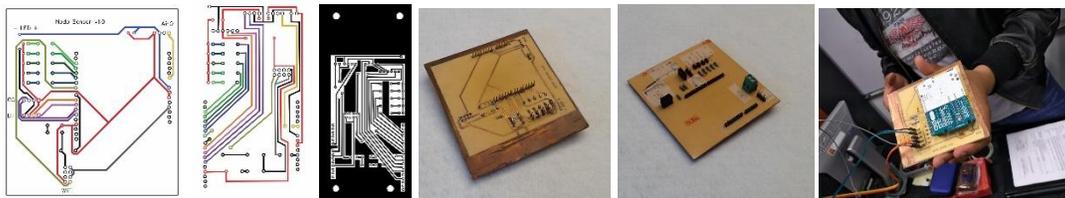
Circuito o tarjeta PCB

Diseño de circuito para el prototipo 1 nodo sensor. Este dispositivo permite la conexión de los componentes electrónicos del prototipo, de forma segura, compacta y con la configuración adecuada para su manipulación y armado. Las imágenes anteriores corresponden a la versión final del circuito PCB, optimizado para un aprovechamiento

espacial dentro del prototipo. Las imágenes siguientes muestran la evolución del circuito inicial, previo a su optimización.



Circuito o tarjeta PCB



PCB (Versiones de trabajo preliminar)

En el Diagrama eléctrico del nodo sensor se muestran las conexiones que se deben realizar entre el Arduino UNO con los LEDs, Sensores (Air Q y CO2), los dispositivos de comunicación como el HC-05 (Bluetooth) y el ESP8266 (Wifi).

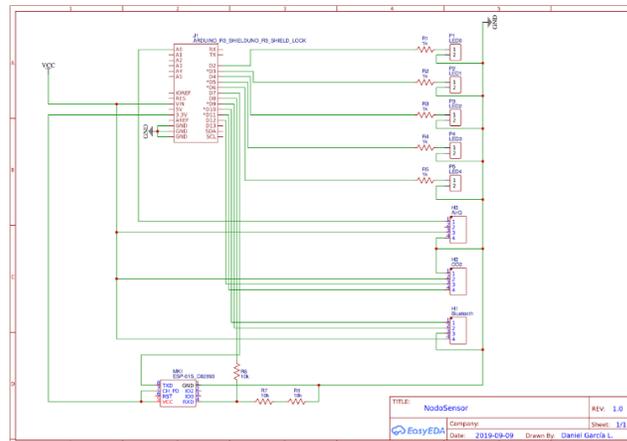
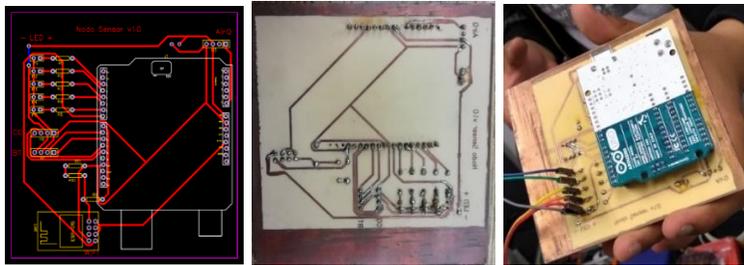
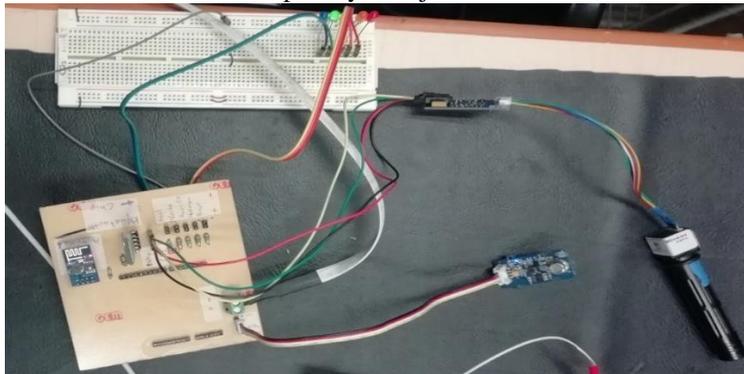


Diagrama eléctrico del nodo sensor (URL del proyecto en EasyEDA <https://easyeda.com/editor#id=|a0b88274ee004f97b5fe9c1e592b067b>)

El diseño del circuito impreso y la tarjeta PCB inicial (vista frontal y posterior), que se usó para las pruebas de integración con el Nodo Concentrador y el Sistema de Información, fueron interconectados mediante una tarjeta protoboard con los sensores y demás componentes que, por su función, no estarían ubicados directamente en la PCB.



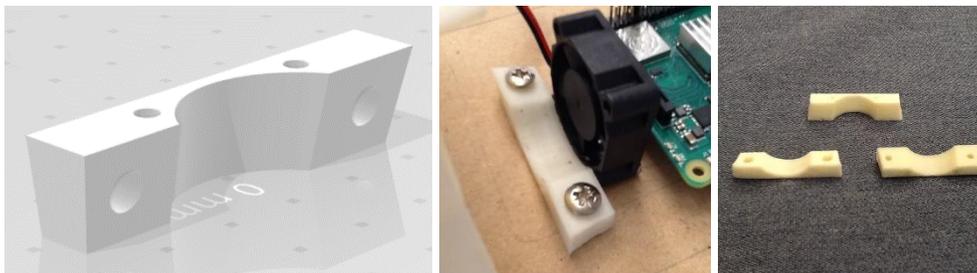
circuito impreso y la tarjeta PCB inicial



Conexión de PCB en su diseño inicial con sensores y fuente de poder

Base para el ventilador

Realizado mediante impresión 3D en ABS blanco, este elemento estructural permite ubicar en posición adecuada el ventilador que suministrará un flujo constante de aire hacia ambas caras del Raspberry Pi, donde se ubican los disipadores térmicos.



Base para el ventilador (archivo digital e impresiones 3D)

Base para LED y botón de reinicio

Realizado mediante impresión 3D en ABS blanco, este elemento estructural se fija a la carcasa termoformada. Su función es la de alojar el LED indicador de actividad del prototipo y el botón de reinicio de la tarjeta Raspberry Pi.



Base para LED y botón de reinicio

Referencias

- [1] Manual CARBOX LINE. 2012. México. Obtenido de Sgpdelvalle.com.mx: http://www.sgpdelvalle.com.mx/wp-content/uploads/2017/03/Manual_Carboxiterapia2017.pdf
- [2] CO₂ (DIÓXIDO DE CARBONO) (*s.f.*). Obtenido de Prtr-es.es: <http://www.prtr-es.es/CO2-Dioxido-de-carbono,15590,11,2007.html>
- [3] Jansen W. Dióxido de carbono – Información básica (*s.f.*). Obtenido de Scienceinschool.org: https://www.scienceinschool.org/sites/default/files/teaserMaterial/issue20_CO2_background_spanish.pdf
- [4] Dióxido de Carbono (*s.f.*). Obtenido de Lenntech.es: <https://www.lenntech.es/biblioteca/carbon-dioxide.htm#ixzz5ZLjG4UMk>
- [5] CALCULO DE CONCENTRACIONES DE AGENTES QUÍMICOS (*s.f.*). Obtenido de Emagister.com: https://www.emagister.com/uploads_user_home/Comunidad_Emagister_4761_quimica.pdf
- [6] Desarrollo de Sistemas de Adquisición de Datos y Control de Tiempo real con Tecnologías Estándar. (2007, abril 10) Recuperado de: <http://www.ni.com/white-paper/5913/es/>
- [7] K33 ICB 10% CO₂ Sensor (*s.f.*). Obtenido de CO₂Meter.com: <https://www.co2meter.com/products/k-33-icb-10-co2-sensor?variant=48011342356>
- [8] *Theory and operation of NDIR sensors* (*s.f.*). Obtenido de Raesystems.com: https://www.raesystems.com/sites/default/files/content/resources/Technical-Note-169_Theory-and-Operation-of-NDIR-Sensors_04-02.pdf
- [9] UV Flux 25% Oxygen Basic Sensor (*s.f.*). Obtenido de CO₂Meter.com: <https://www.co2meter.com/products/uv-flux-oxygen-sensor>
- [10] Ashutosh Sharma and Otto S. Wolfbeis, "Fiberoptic Oxygen Sensor Based on Fluorescence Quenching and Energy Transfer," *Appl. Spectrosc.* 42, 1009-1011 (1988).
- [11] Gas Sensor Market Size, Share & Trends Analysis By Product, By Technology, By End Use (Medical, Environmental, Petrochemical, Automotive, Industrial, Agriculture, Others), By Region, And Segment Forecasts, 2018 – 2025. Junio 2018. Obtenido de Grandviewresearch.com: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/gas-sensors-market>