

Informe de avances – AR Tour Virtual CIT

Durante esta fase del proyecto se avanzó significativamente en el **mapeo de la red de sensores UWB** utilizando **AutoCAD**. El proceso se llevó a cabo sobre el modelo en 2D del edificio del CIT, previamente generado y escalado por el compañero **Diego Leiva**, el cual contaba con medidas precisas que facilitaron el trabajo de localización espacial.

Se realizó la **colocación de los 12 sensores** en posiciones estratégicas, siguiendo criterios de cobertura, accesibilidad y eficiencia espacial. Para cada uno de los sensores se **extrajeron las coordenadas exactas** dentro del plano de AutoCAD, las cuales fueron posteriormente trasladadas a formato **JSON**, permitiendo su reutilización directa dentro del entorno virtual.

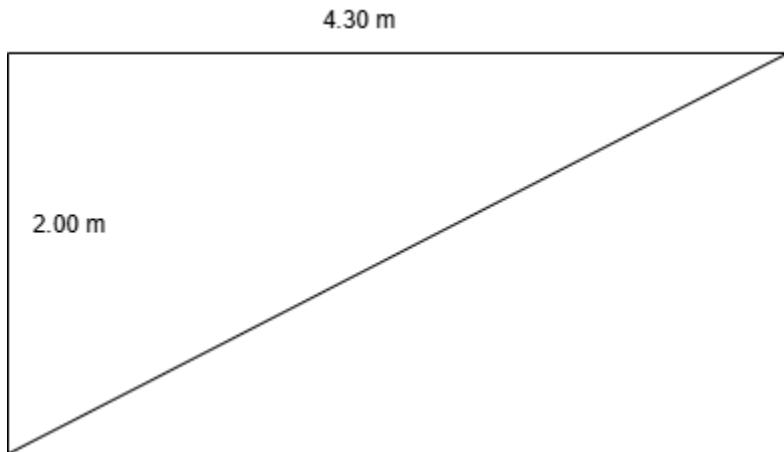
Este JSON servirá como puente entre el entorno físico y virtual, facilitando la integración del sistema de posicionamiento en **Unity**, donde se está desarrollando la visualización y experiencia inmersiva del tour en realidad aumentada.

Además, se realizaron **mediciones de los ángulos de apertura** de cada sensor, utilizando herramientas como telémetros y la aplicación de detección del sensor UWB. Con base en las distancias máximas de detección registradas, se aplicaron **ecuaciones trigonométricas básicas** para calcular el ángulo de apertura efectivo por sensor, el cual fue representado gráficamente en AutoCAD como una referencia de alcance.

Esta integración entre herramientas físicas, modelado CAD y entorno virtual marca un paso clave en la **unificación del sistema** para el proyecto de Tour Virtual UVG.

Calculo de angulo de apertura:

Inicialmente con un metro y un punto de referencia definimos este triangulo a partir del sensor

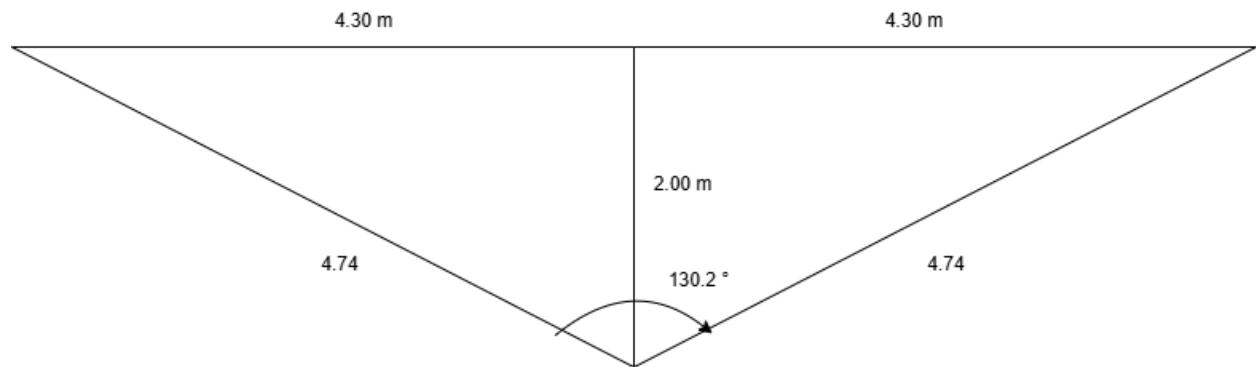


En el cual realizamos el siguiente calculo:

Datos conocidos:

- Cateto opuesto (altura): $a = 2.00 \text{ m}$
- Cateto adyacente (base): $b = 4.30 \text{ m}$
- Usamos el **Teorema de Pitágoras**
- Calculo de angulo interno de apertura

Obtuvimos lo siguiente:



JSON con coordenadas mapeadas:

```
{  
  "s1": {  
    "x": 5.5,  
    "y": 3.17,  
    "z": 2.1  
  },  
  "s2": {  
    "x": 17.5,  
    "y": -4.43,  
    "z": 2.1  
  },  
  "s3": {  
    "x": 20.5,  
    "y": -4.43,  
    "z": 2.1  
  }  
}
```

"y": 3.0,

"z": 2.1

},

"s4": {

"x": 13.93,

"y": 11.2,

"z": 2.1

},

"s5": {

"x": 19.0,

"y": 24.35,

"z": 2.1

},

"s6": {

"x": 32.0,

"y": 21.43,

"z": 2.1

},

"s7": {

"x": 48.33,

"y": 24.35,

"z": 2.1

},

"s8": {

"x": 64.93,

"y": 23.0,

"z": 2.1

},

"s9": {

"x": 54.83,

"y": 18.0,

"z": 2.1

},

"s10": {

"x": 70.78,

"y": 17.0,

"z": 2.1

},

"s11": {

"x": 71.43,

"y": 32.12,

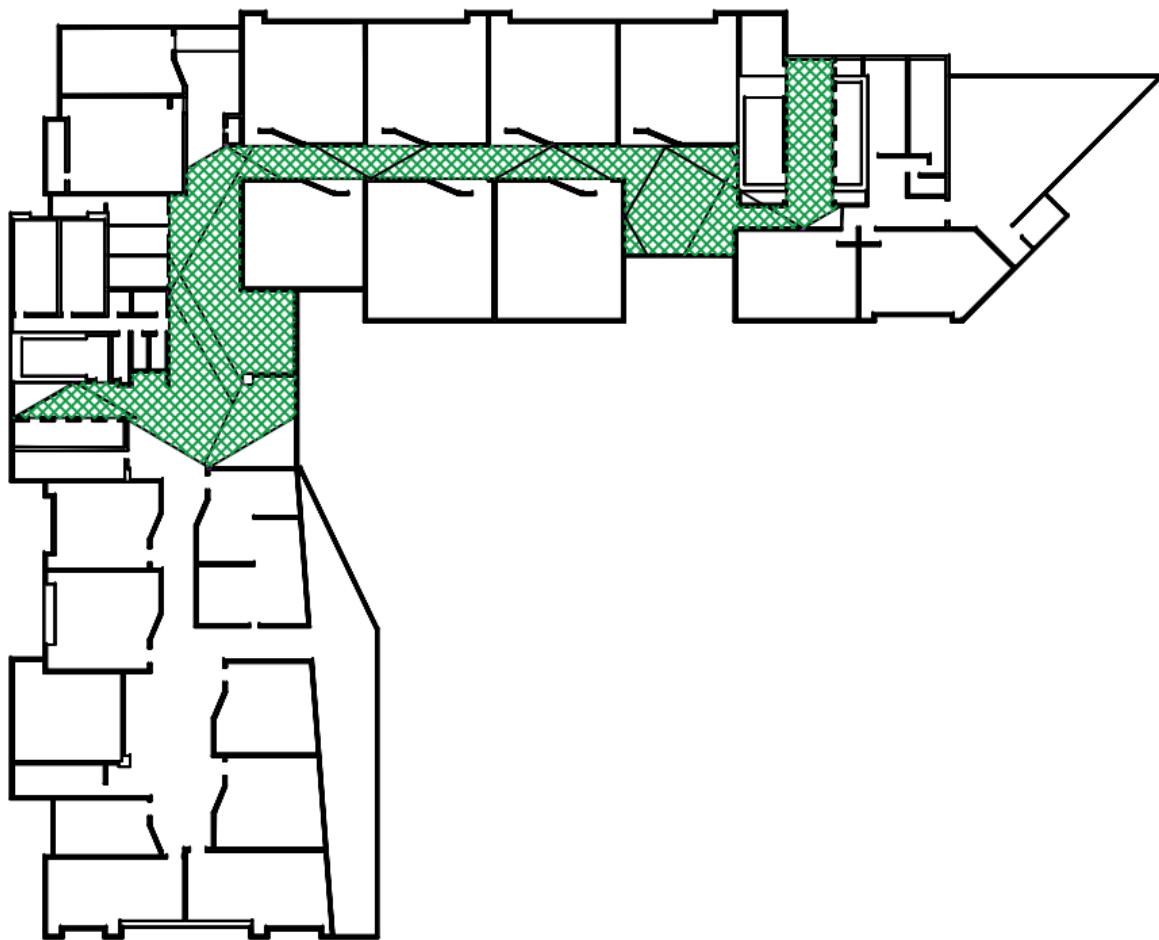
"z": 2.1

}

}

Modelo 2D con sensores colocados en las áreas estratégicas para cobertura en el recorrido del nivel 6.

El área marcada en color verde es el área de cobertura de la señal UWB basándose en el ángulo de apertura calculado más las distancias de cobertura de los sensores.



Hallazgo técnico sobre compatibilidad UWB durante la implementación

Durante la implementación del sistema y al avanzar con pruebas reales, identifiqué que el módulo **DW1000**, inicialmente seleccionado por su compatibilidad con el estándar **IEEE 802.15.4**, no era capaz de detectar correctamente los **Estimote UWB Beacons** utilizados en el entorno de pruebas.

Tras un análisis más profundo, descubrí que los beacons trabajan bajo características avanzadas del estándar **IEEE 802.15.4z**, como el uso de canales **6** y **9** y posiblemente técnicas como **STS (Secure Time Stamping)**, lo cual requiere módulos más modernos como el **DW3000**.

Aunque esta información no se encuentra de forma pública en la documentación oficial de Estimote, se pudo confirmar que el modelo adecuado para la validación era el **DW3000**, el cual también mantiene compatibilidad con los modos del DW1000. Esta diferencia de estándares entre módulos fue clave para explicar los resultados limitados que se presentaban inicialmente.

Este hallazgo permitió reorientar parte de la implementación para trabajar con una configuración más adecuada a los requerimientos reales del sistema y se documenta como parte importante del avance técnico alcanzado hasta el momento.

Informe de Avances – Desarrollo de Sniffer y Estrategia de Ranging con Beacons UWB Estimote

En el marco del proyecto se planteó como primer paso la construcción de un sniffer UWB utilizando la placa ESP32 UWB con módulo DW3000 de Makerfabs. El objetivo inicial era capturar tramas provenientes de los beacons Estimote instalados y, a partir de dichas tramas, obtener mediciones de distancia (*ranging*) que pudieran integrarse al sistema de posicionamiento para el recorrido virtual en el CIT.

El sniffer fue configurado correctamente y logró detectar múltiples emisiones UWB de los beacons. Estas capturas se realizaron en formato hexadecimal y registraron tramas completas con encabezados, payloads y CRC, lo que permitió confirmar que el sistema era capaz de escuchar la comunicación inalámbrica en el entorno. Sin embargo, pronto se identificaron limitaciones importantes. Las tramas capturadas correspondían únicamente a la capa física y MAC, mientras que los campos de aplicación relacionados con el cálculo de distancias no resultaron legibles. Los datos aparecieron como bloques extensos de valores hexadecimales sin estructura interpretable para la investigación, probablemente debido al uso de un protocolo propietario por parte de Estimote. A ello se sumó el hecho de que no se obtuvo acceso a los *timestamps* de hardware necesarios para realizar cálculos de tiempo de vuelo (ToF) con precisión de nanosegundos, lo cual es un requisito indispensable para el ranging.

El análisis teórico de esta limitación permitió comprender con mayor claridad las causas. Los beacons Estimote implementan esquemas de ranging encapsulados en su firmware y únicamente accesibles a través de su SDK oficial para aplicaciones móviles. Esto significa que, aunque el hardware transmite bajo el estándar IEEE 802.15.4a/802.15.4z, las tramas de ranging incluyen información adicional codificada que no está documentada públicamente. A lo anterior se suma la diferencia entre un sniffer pasivo y un protocolo activo. Mientras que el DW3000 únicamente escucha las tramas en el aire, los protocolos de ranging requieren un intercambio bidireccional de mensajes, como por ejemplo *request* y *response*, junto con la captura de *timestamps* de envío y recepción con alta precisión. Sin esta participación activa, un sniffer no puede calcular distancias. En consecuencia, la información en bruto capturada en hexadecimal, aunque confirma la existencia de comunicación UWB, no contiene valores de distancia ni campos identificables, lo que la hace inútil para los fines de la investigación.

Ante estas limitaciones se decidió modificar la estrategia del proyecto. En lugar de continuar con el desarrollo de un sniffer, se optó por trabajar en una aplicación móvil que utilice el SDK oficial de Estimote. Este SDK sí permite acceder a las rutinas de ranging implementadas en los beacons y entrega directamente valores de distancia procesados y calibrados, lo que garantiza compatibilidad y confiabilidad en las mediciones y reduce la necesidad de recurrir a técnicas de ingeniería inversa.

En cuanto a los próximos pasos, se contempla la implementación de la aplicación móvil integrando el SDK de Estimote para detección y ranging desde el teléfono hacia los beacons. A la par, se diseñará un sistema de registro de datos que permita almacenar las distancias estimadas, los identificadores de los beacons y los *timestamps* correspondientes, ya sea en formato CSV o JSON. Posteriormente, se llevará a cabo una fase de calibración física en la que se validarán las mediciones obtenidas mediante comparaciones con un telémetro en puntos de referencia previamente establecidos dentro del CIT. Finalmente, los datos calibrados se integrarán al sistema de recorrido virtual, de forma que puedan activar eventos de realidad aumentada y asegurar una experiencia precisa y confiable.

En conclusión, este avance permitió comprobar que el sniffer DW3000 cumple con la función de detección de tramas, pero no resulta útil para obtener mediciones de distancia con Estimote debido a la naturaleza propietaria de su protocolo. El hallazgo más importante es que la única vía confiable para acceder a distancias en este ecosistema es mediante el SDK móvil, lo que define el nuevo eje de desarrollo del proyecto. La siguiente etapa se enfocará en la implementación de la aplicación móvil y en la realización de pruebas de calibración, lo que permitirá consolidar un sistema robusto de detección y medición de distancias dentro del entorno de pruebas.

Informe de Avances – Diseño y Ubicación de la Red de Sensores UWB en el Nivel 6

El proyecto busca diseñar e implementar una red de sensores UWB en el nivel 6 del CIT, con el fin de habilitar un sistema de posicionamiento preciso que pueda ser utilizado en el recorrido virtual de realidad aumentada. Para ello, uno de los primeros pasos fue definir la ubicación exacta de los sensores en el espacio, tomando como base el plano del nivel 6 proporcionado por la universidad.

Durante las visitas realizadas a la institución, se efectuaron mediciones físicas de distancias y ángulos en distintos puntos de referencia. Al comparar los resultados con las dimensiones registradas en el plano oficial, se evidenciaron diferencias importantes que podían afectar tanto el diseño de la red como la precisión del sistema de posicionamiento. Esta discrepancia llevó al equipo a optar por un procedimiento más riguroso: se decidió realizar un mapeo del nivel completo mediante tecnología LiDAR.

El escaneo con LiDAR permitió obtener un modelo tridimensional del nivel 6 con un alto grado de precisión, lo que resolvió las inconsistencias entre la información del plano entregado y la realidad constructiva del edificio. A partir de este modelo, fue posible trasladar la información a formato IPT y luego exportarlo a DWG, lo que facilitó el trabajo de diseño sobre una representación digital fiel a la estructura real. De esta manera, se garantizó que la ubicación de los sensores pudiera planificarse con base en la geometría exacta de pasillos, muros, columnas y demás elementos del entorno.

Con el modelo en DWG ya disponible, se procedió a determinar los puntos estratégicos para la instalación de los sensores UWB. En un inicio se había proyectado la colocación de doce dispositivos, sin embargo, tras analizar con detalle la complejidad estructural del nivel 6, se concluyó que serían necesarios quince sensores para cubrir adecuadamente el espacio. Esta decisión se tomó considerando la necesidad de asegurar visibilidad múltiple en cada área para la trilateración, así como garantizar redundancia frente a posibles obstrucciones o interferencias. La distribución final quedó diseñada de forma que cada zona del nivel cuente con la cobertura necesaria para que el sistema funcione de manera estable y confiable.

Es importante destacar que cada nivel del CIT se maneja con un punto de origen distinto, configurado a través de un archivo JSON específico para cada modelo. De esta manera, cada nivel dispone de su propio conjunto de sensores definidos, que representan la red de sensores en el mundo virtual y que posteriormente se replica en el mundo real. Para asegurar un manejo ordenado y escalable de estas configuraciones, se desarrolló un sistema web de gestión de sensores por áreas. Este sistema permite administrar de manera flexible la red en cada nivel, ya que cada vez que se agregue, elimine o edite un sensor es posible descargar un nuevo JSON actualizado. Dicho archivo sirve para la reconfiguración de la red dentro de los modelos y, a su vez, para mantener sincronizada la aplicación móvil que depende de esa información para conocer los puntos de referencia de los sensores en el entorno real.

El sistema web fue implementado en Next.js con TypeScript y utiliza PostgreSQL como base de datos. Además, cuenta con medidas de seguridad alineadas a las recomendaciones OWASP para prevenir

inyecciones SQL y proteger la información sensible de los sensores. Actualmente, el acceso está restringido mediante autenticación basada en JWT tokens únicos por sesión, y existe únicamente un usuario administrador encargado de la gestión. La información que almacena este sistema incluye el número de sensor, un código asignado por el equipo de trabajo siguiendo la nomenclatura *código de área – número de sensor*, el identificador único propio de Estimote y las coordenadas exactas de ubicación, además de la asociación de cada sensor con su nivel correspondiente.

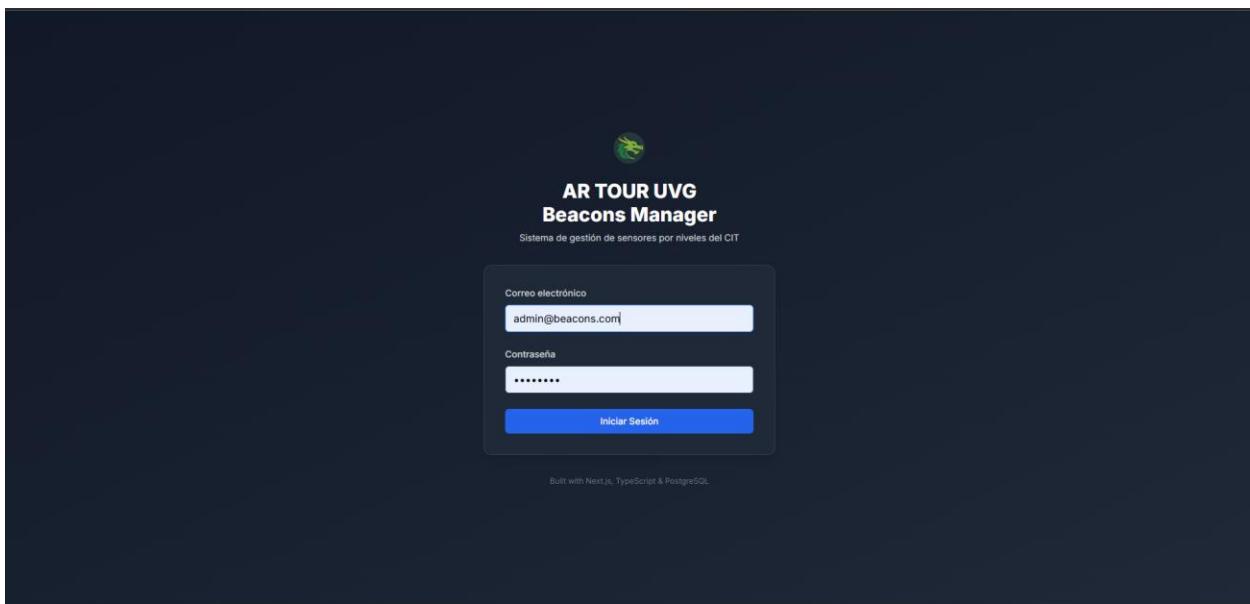
Como resultado de este avance, el proyecto cuenta no solo con un modelo digital exacto del nivel 6 y con un diseño de red de quince sensores estratégicamente ubicados, sino también con un sistema web de gestión que permite mantener la red organizada, actualizada y escalable a otros niveles o áreas de la universidad. El siguiente paso será validar en sitio las posiciones propuestas en el DWG, tomando en cuenta la factibilidad física de instalación en paredes y techos, así como las condiciones de acceso eléctrico y de red. Posteriormente, se elaborará el plan de montaje y se llevará a cabo la calibración inicial de los sensores una vez instalados, con el objetivo de comprobar la cobertura en campo y ajustar la red de acuerdo con los resultados obtenidos.

En conclusión, el uso de tecnología LiDAR fue fundamental para superar las limitaciones derivadas de la diferencia entre los planos originales y la construcción real, mientras que la creación del sistema web asegura la gestión eficiente de la red de sensores a lo largo de su ciclo de vida. Gracias a estos avances, se logró establecer un diseño más robusto y adaptable, con quince sensores estratégicamente ubicados y con una infraestructura digital que permitirá mantener actualizada la red y garantizar su escalabilidad en el futuro.

Posicionamiento de sensores con modelo actualizado con precision



Sistema de Gestión de Beacons



AR TOUR UVG - Beacons Manager

Hola, admin Cerrar Sesión

Gestión de Sensores Gestión de Áreas

+ Agregar Sensores

Áreas de Sensores

50 sensores distribuidos en 5 áreas

Ver Todos

CIT-01 Nivel 1 CIT	CIT-02 Nivel 2 CIT	CIT-03 Nivel 3 CIT	CIT-06 Nivel 6 CIT	CIT-07 Nivel 7 CIT
10 sensores Sensores registrados Hacer clic para ver JSON				

Todos los Sensores

50 sensores encontrados

Buscar sensores...

SENSOR	COORDENADAS	NIVEL	ACCIONES
Sensor: 1 Codigo: CIT-01-1 ID: SENSOR-CIT-01-01	X: 1 Y: 1 Z: 2.1	Nivel 1	Editar Eliminar

AR TOUR UVG - Beacons Manager

Hola, admin Cerrar Sesión

Gestión de Sensores Gestión de Áreas

+ Agregar Sensores

Agregar Sensores

Agrega uno o múltiples sensores. Puedes agregar más sensores usando el botón "Agregar Otro Sensor".

Sensor #1

Área * Selecciona un área	Coordenadas X: 0.0 Y: 0.0 Z: 2.1 Valor fijo: 2.1 metros Unidades: metros
Número de Sensor * Ej: SENSOR001	
Código de Sensor Se genera automáticamente Se genera automáticamente como: codigoArea-numSensor	
Identificación de Sensor * Ej: ID001	

+ Agregar Otro Sensor

SENSOR	COORDENADAS	NIVEL	ACCIONES
Sensor: 1 Código: CIT-06-1 ID: SENSOR-CIT-06-01	X: 31 Y: 31 Z: 2.1	Nivel 6	Cerrar

Editar Sensor
Modifica la información del sensor seleccionado.

Sensor #1

Área *

Coordenadas

X
Y
Z

Valor fijo: 2.1 metros

Número de Sensor *

Unidades

Código de Sensor

Se genera automáticamente como: códigoArea-numSensor

Identificación de Sensor *

[Cancelar](#)
[Actualizar Sensor](#)

AR TOUR UVG - Beacons Manager

Hola, admin [Cerrar Sesión](#)

Gestión de Sensores		Gestión de Áreas		
		<h3>Gestión de Áreas</h3> <p>Administra las áreas y ubicaciones de la red de sensores</p>		
		+ Agregar Área		
ÁREA	CÓDIGO	UBICACIÓN	ESTADO	ACCIONES
Nivel 1 Área 1	CIT-01	CIT	Activo	Editar Eliminar
Nivel 2 Área 2	CIT-02	CIT	Activo	Editar Eliminar
Nivel 3 Área 3	CIT-03	CIT	Activo	Editar Eliminar
Nivel 6 Área 6	CIT-06	CIT	Activo	Editar Eliminar
Nivel 7 Área 7	CIT-07	CIT	Activo	Editar Eliminar

AR TOUR UVG - Beacons Manager

Hola, admin [Cerrar Sesión](#)

[Gestión de Sensores](#) [Gestión de Áreas](#)

Gestión de Áreas

Administra las áreas y ubicaciones de la red de sensores

[+ Agregar Área](#)

Agregar Nueva Área

Crea una nueva área para organizar los sensores.

Número de Área *	8	Color del Área *	Blue
Nombre del Área *	Ej: Área 1, Planta Baja, etc.		
Código del Área	CIT-08	Descripción	
Ubicación *	CIT	<input checked="" type="checkbox"/> Área activa	

[Cancelar](#) [Crear Área](#)

[Gestión de Sensores](#) [Gestión de Áreas](#)

Gestión de Áreas

Administra las áreas y ubicaciones de la red de sensores

[+ Agregar Área](#)

Editar Área

Modifica la información del área seleccionada.

Número de Área *	6	Color del Área *	Blue
Nombre del Área *	Nivel 6		
Código del Área	CIT-06	Descripción	
Ubicación *	CIT	<input checked="" type="checkbox"/> Área activa	

[Cancelar](#) [Actualizar Área](#)

ÁREA	CÓDIGO	UBICACIÓN	ESTADO	ACCIONES
■ Nivel 1 Área 1	CIT-01	CIT	Activo	Editar Eliminar

JSON GENERADO

```
{  
    "73bac8b3c05cd899eb9bcaa46827f630": {  
        "x": -0.9,  
        "y": 2.5,  
        "z": 2.1  
    },  
    "a3be3bc5d733fad28a6ec7878b5d3929": {  
        "x": 5.5,  
        "y": 4.75,  
        "z": 2.1  
    },  
    "0a1abe6e426f05f0c70a65a61313c63c": {  
        "x": 17,  
        "y": -2.9,  
        "z": 2.1  
    },  
    "44d22f737b259dd4e31a23b324ef941f": {  
        "x": 19.26,  
        "y": 5,  
        "z": 2.1  
    },  
    "550aed08145ffba276256b188a968124": {  
        "x": 13.03,  
        "y": 12.2,  
        "z": 2.1  
    },  
    "2cd9ef8f486e4dbf1eb85ae7c0bc0a14": {  
        "x": 14.58,  
        "y": 23,  
        "z": 2.1  
    },  
    "dc89a1ea448ecf9b5c8f9f66af1ecc06": {  
        "x": 17,  
        "y": 29.6,  
        "z": 2.1  
    },  
    "117b9cadef3257915b1686466c5c962c": {  
        "x": 24,  
        "y": 22.4,  
        "z": 2.1  
    },  
    "fe08fa755807f79abf1a233724ed182e": {  
        "x": 37,  
        "y": 25.41,  
        "z": 2.1  
    },  
    "5d41cbaa8d563dfc9652cc1ce6cb920d": {  
        "x": 46,  
        "y": 22.4,  
        "z": 2.1  
    },  
    "c6d9a39a2dd2daf6898f06a82e5d642f": {  
        "x": 58.5,  
        "y": 25.41,  
        "z": 2.1  
    },  
    "51e3b3def31fdc943735915249be6610": {  
        "x": 63.15,  
        "y": 25.41,  
        "z": 2.1  
    }  
}
```