



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN LA REPRESA DE  
HIDROITUANGO PARA CONTROLAR EL NIVEL DE AGUA DEL RÍO  
CAUCA UTILIZANDO IOT**

**HÉCTOR GUILLERMO RODRÍGUEZ GÓMEZ - 625478  
CARLOS ANDRÉS OLARTE CELY - 624910**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
BOGOTÁ, DICIEMBRE  
2019**

---

SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN LA REPRESA DE  
HIDROITUANGO PARA CONTROLAR EL NIVEL AGUA DEL RÍO CAUCA  
UTILIZANDO IOT

HÉCTOR GUILLERMO RODRÍGUEZ GÓMEZ - 625478  
CARLOS ANDRÉS OLARTE CELY - 624910

Trabajo de Grado para optar al título de  
INGENIERO DE SISTEMAS  
Modalidad: Visita técnica Internacional

Asesor: FREDY ERNESTO PARDO ANGULO

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
BOGOTÁ, DICIEMBRE  
2019



## Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

**Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Compartir bajo la Misma Licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

---

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

**Jurado**

---

**Jurado**

---

Fredy Ernesto Pardo Angulo  
Asesor

Bogotá, septiembre 15, 2019

---

## TABLA DE CONTENIDOS

### Tabla de contenido

RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
<b>2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA</b>	13
<b>2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b>	14
3. JUSTIFICACIÓN.	15
4. OBJETIVOS	17
<b>4.1. OBJETIVO GENERAL</b>	17
<b>4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	17
5. MARCO CONCEPTUAL	18
<b>5.1 REPRESA</b>	18
<b>5.2. SENSORES</b>	19
5.2.1. Sensores de distancia laser.	19
5.2.2. Sensores de distancia Ultrasónicos.	20
5.2.3. Sensores de Larga Distancia.	20
<b>5.3. ESCLUSA</b>	20
<b>5.4. COMPUERTA</b>	21
5.4.1. Compuertas Planas Deslizantes.	21
5.4.2. Compuertas Planas de Rodillos.	22
5.4.3. Compuertas Radiales (Taintor).	22
5.4.4. Compuertas Flap o Clapetas.	23
5.4.5. Compuertas Ataguía.	23
5.4.6. Compuertas Mariposa.	23
5.4.7. Compuertas Caterpillar (Tractor).	24
5.4.8. Compuertas Cilíndricas.	24
<b>5.5. MECANISMOS COMPLEMENTARIOS</b>	24
<b>5.6. RED EN ESTRELLA</b>	25
6. MARCO TEORICO	26
<b>6.1. TEORIA DE LAS ESCLUSAS</b>	26

---

6.2.	INTERNET DE LAS COSAS (IoT)	26
6.3.	TEORIA GENERAL DE SISTEMAS	27
6.4.	FASES DE DESARROLLO DE SIMULACIONES	28
6.4.1.	Interfaz indirecta.	30
6.4.2.	Simulación.	31
6.4.3.	Simulación por computadora.	32
6.4.4.	Modelación de procesos.	32
6.5.	CISCO PACKET TRACER	33
7.	ESTADO DEL ARTE	35
8.	METODOLOGIA	37
8.1.	MÉTODO DEDUCTIVO	¡Error! Marcador no definido.
8.2.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	37
8.3.	RECOLECCIÓN DE DATOS	38
9.	CONTEXTUALIZACION ESCENARIO DE SIMULACIÓN.	40
9.1.	UBICACIÓN DE SENSORES	40
9.2.	SENSORES PARA MEDICIÓN	41
9.3.	SOLUCIÓN PLANTEADA	45
9.4.	ESCENARIOS POSIBLES.	46
9.4.1.	Alerta Baja.	47
9.4.2.	Alerta Media.	47
9.4.3.	Alerta Alta.	47
10.	SIMULACIÓN	48
11.	CONCLUSIONES	76
12.	REFERENCIAS	77

---

## LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 Proceso CAM	29
Ilustración 2 Componentes del CAD/CAM	30
Ilustración 3 Interfaz de usuario de Cisco Packet Trace	34
Ilustración 4 . Sistema Recolección Datos	39
Ilustración 5 Mapa	40
Ilustración 6 Sensor de Medición	42
Ilustración 7 Sensor Medición Rio.	43
Ilustración 8 Esquema de Red	45
Ilustración 9 Niveles de caudal	46
Ilustración 10 Tina de almacenamiento de agua	48
Ilustración 11 Tina de almacenamiento de agua	49
Ilustración 12 Esquema general	50
Ilustración 13 Esquema general	51
Ilustración 14 Esquema general Cisco Packet Tracer	52
Ilustración 15 Esquema general Cisco Packet Tracer	53
Ilustración 16 Conexión Access Point y Servidor DHCP	53
Ilustración 17 Configuración Access Point	54
Ilustración 18 Configuración Access Point	55
Ilustración 19 Water Detector	56
Ilustración 20 Configuración Access Point	56
Ilustración 21 Configuración de adaptador Access Point	57
Ilustración 22 Configuración del Access Point	58
Ilustración 23 Configuración de puerto Access Point	59
Ilustración 24 Red Inicial prueba	60
Ilustración 25 Interface Servidor	60
Ilustración 26 Configuración de la dirección del servidor.	61
Ilustración 27 Configuración DHCP servidor	62
Ilustración 28 Asignación automática de la dirección Sensor Tina 1	63
Ilustración 29 Esquema general conectado a red	64
Ilustración 30 Esquema General Tablet SmartPhone	64
Ilustración 31 Configuración Tablet	65
Ilustración 32 Configuración Smartphone	66
Ilustración 33 . Escritorio Servidor	67
Ilustración 34 Registro Usuario IoT	68
Ilustración 35 Configuración IoT server Sensor 1	69
Ilustración 36 Ingreso IoT servidor	70
Ilustración 37 Interface conexión sensores	71
Ilustración 38 Escenario 1 Detección nivel bajo de agua	72
Ilustración 39 Escenario 2 Detección nivel Medio de agua	72
Ilustración 40 Escenario 3 Detección Nivel Máximo de agua	73
Ilustración 41 . Activación de la tina número dos	73
Ilustración 42 Activación de la tina número tres	74

---

Ilustración 43 Activación del canal de desvío	74
Ilustración 44 Escenario Final	75

---

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de ubicación	37
Tabla 2. IP's Red	42
Tabla 3. Medidas de alerta	43

---

## RESUMEN

Las esclusas del canal de Panamá juegan un rol importante dentro del canal ya que estas son las que permiten que los buques realicen el paso interoceánico y así poder transportar los diferentes tipos de mercancía a los puertos del mundo en un lapso más corto, lo cual al no tener que pasar por el cono sur genera menos costos tanto en dinero como en tiempo y así podrán tener más utilidades frente al transporte utilizado.

La visita académica internacional guiada por ingenieros a cargo de las instalaciones visitadas dentro del canal, permitió observar el proceso por el cual utilizando una especie de tinajas iban nivelando el mar caribe y el océano pacífico para el paso de los diferentes buques a través de los dos, la visita académica no sólo permitió observar todo el funcionamiento del canal de Panamá si no todo el diseño de Ingeniería que una obra de esta magnitud necesitaba, además de resolver el interrogante planteado antes de realizar nuestra visita, ¿Cómo es el sistema que ejerce el canal de Panamá para equilibrar esclusas en dado caso de una constante lluvia? ¿Cómo Realizan la evacuación de agua cuando ya no se es necesaria?

Mediante esta visita se dio la oportunidad de solucionar nuestra duda y asimismo proponer como alternativa de proyecto de grado, para prevenir y/o alertar emergencias que se puedan presentar en la represa de Hidroituango, mediante la simulación del sistema vamos a demostrar que implementando esclusas y sensores se permite mejorar la forma en la cual tratan el nivel del agua.

Esta simulación se realizará por medio de una red de sensores, los cuales serán encargados de generar las respectivas alertas a los municipios aledaños y así prevenir posibles desastres, adicionalmente estos sensores serán encargados de activar las compuertas cuando lo consideren necesario ya sea para llenar las tinajas o para desviar el caudal del río kilómetros después.

Con esta solución propuesta esperamos obtener que la represa de Hidroituango disminuya la probabilidad de que se presenta alguna emergencia como desbordamiento del río, lo cual afecta a los habitantes de los municipios aledaños al igual que la economía del país, ya que como se menciona antes será la hidroeléctrica más rentable de Colombia.

**Palabras Claves: Canal, Sistema de información, Proceso, Internet, Control, Visita educativa.**

---

## ABSTRACT

The Panama Canal locks play an important role inside the channel since these are those who allow that the noses should realize the interoceanic and like that step to be able to transport the different types of goods to the ports of the world in a space of more short time, which on not having had to happen for the south cone generates fewer costs both in money and in time and this way they will be able to have more usefulness opposite to the used transport.

The academic international visit guided by engineers at the expense of the facilities visited inside the channel, it allowed to observe the process for which using a species of tubs they were levelling the Caribbean sea and the pacific ocean for the step of the different noses across the two, the academic visit not only allowed to observe all the functioning of the channel of panama hat if not the whole design of Engineering that a work of this magnitude needed, beside solving the question raised before realizing our visit, how is it the system that exercises the channel of Panama to balance sluices in given case of a constant rain? How Do They Realize the water evacuation when already one is not necessary?

Through this visit the opportunity was given to solve our doubt and also propose as an alternative for a degree project, to prevent and / or alert emergencies that may occur in the Hidroituango dam, through the simulation of the system we will demonstrate that implementing locks and Sensors are allowed to improve the way in which they treat the water level.

Through the simulation of the system we will demonstrate that implementing locks and sensors it is allowed to improve the way in which they treat the water level, vacating the main channel that would be the generator of the energy and overflowing the excess water towards some tubs or directly below the flow of the river, with this it is expected that the simulation, serve to give rise to a great project of improvement to this dam and thus mitigate the errors that have been presently Intended as overflows.

With this proposed solution we hope to obtain that the Hidroituango dam decrease the probability of an emergency such as overflow of the river, which affects the inhabitants of the surrounding municipalities as well as the economy of the country, since as mentioned before it will be the most profitable hidorelectric in Colombia

**Keywords: Canals, Information Systems, Process, Internet, Testing, School visits.**

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La central hidroeléctrica Hidroituango actualmente es uno de los proyectos más grandes de Colombia. Varias investigaciones realizadas en fuentes secundarias como artículos publicados en internet, noticias transmitidas por televisión, periódicos digitales, entre otras, permite conocer acerca de la hidroeléctrica que se encuentra ubicada al occidente de Colombia, en el departamento de Antioquia a unos 171 kilómetros de Medellín, el cual tiene unas dimensiones de aproximadamente 220 metros de altura y un embalse de 560 metros de largo, que almacenará hasta 2.720 millones de metros cúbicos de agua.

Desde el mes de abril de 2018, se presentaron varios tipos de complicaciones como, por ejemplo, derrumbes en el túnel de desviación del río Cauca, por dicha causa se presentó un llenado no programado e incontrolado de la represa, obstruyendo una vía de comunicación del municipio de Ituango, el cual generó desplazamiento de la población. Esta situación se vio agravada por el riesgo de que el nivel del agua sobrepasa la presa, y esto podría generar una ruptura que pudo destruir el corregimiento de Puerto Valdivia y los municipios de Tarazá, por dicha razón se llegó a la decisión de inundar la casa de máquinas con el fin de que el río Cauca regresara a su cauce natural y evitar más complicaciones, esta decisión trajo pérdidas incalculables para el proyecto.

Con estas medidas tomadas se presentó una abertura natural de uno de los túneles que originalmente son para la desviación de agua, el cual generó una creciente del río que obligó la evacuación de nuevo de una gran parte de la población; las aguas del río Cauca las cuales se encontraban represadas y se encontraban en movimiento por uno de dichos túneles, causaron una fuerte avalancha que se filtró por uno de los canales, hicieron colapsar la casa de máquinas, el que se considera el centro más importante de la planta de generación eléctrica Hidroituango, por ende los túneles están siendo reforzados ya que se vieron fuertemente afectados por el taponamiento de los mismos.

Es así que surge la necesidad de utilizar una SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN LA REPRESA DE HIDROITUANGO PARA CONTROLAR EL NIVEL AGUA DEL RÍO CAUCA UTILIZANDO IOT y así poder prevenir los inconvenientes que se presentaron en la represa, el cual estará representando en varias fases, siendo una primera el levantamiento de la información, seguido del diseño de la propuesta tecnológica para realizar el sistema lo cual se llevará a cabo por una red de sensores usando IOT, estos estarán ubicados en puntos estratégicos a lo largo

---

del caudal para generar alarmas y activa el plan de emergencia con las compuertas y tinas, y por último el diseño y simulación de dicho sistema que permita evitar los inconvenientes que se presentaron en la represa de Hidroituango.

En primera medida se realizará la simulación con la ayuda del software “Packet Tracer” que nos dará un esquema general de la red de sensores que permita dar alertas del caudal del río Cauca y su inminente emergencia en cuanto a los poblados de Buriticá, Peque, Liborina, Sabanalarga, Toledo, Olaya, San Andrés de Cuerquia, Valdivia y Yarumal ya que son los más cercanos a la ubicación de la represa de Hidroituango. Estos sensores estarán constantemente monitoreando la presión del agua, la profundidad y el caudal, ya que al alterarse una de estas medidas se puede presentar una emergencia; Por lo tanto, estos sensores generarán estas alarmas para alertar a los encargados, adicionalmente estos sensores serán los encargados de activar las compuertas para generar el llenado de las tinas o a su vez para desviar el río cauca y así poder evitar las emergencias por un desbordamiento de este río.

Esta monografía con la simulación se llevará a cabo a lo largo del segundo semestre del 2019, con resultado final la simulación sobre la red de sensores y compuertas para validar el funcionamiento en dado caso de una implementación real directamente en el sitio afectado.

---

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La central hidroeléctrica Hidroituango actualmente uno de los proyectos más grandes de Colombia. Investigaciones realizadas en fuentes secundarias como artículos publicados en internet, noticias transmitidas por televisión, periódicos digitales, entre otras, permite conocer acerca de la hidroeléctrica que se encuentra ubicada al occidente de Colombia, en el departamento de Antioquia a unos 171 kilómetros de Medellín, el cual tiene unas dimensiones de aproximadamente 220 metros de altura y un embalse de 560 metros de largo, que almacenará hasta 2.720 millones de metros cúbicos de agua.<sup>1</sup>

En el mes de abril de 2018, se presentaron varios tipos de complicaciones como, por ejemplo, derrumbes en el túnel de desviación del río Cauca, por dicha causa se presentó un llenado no programado e incontrolado de la represa, obstruyendo una vía de comunicación del municipio de, el cual generó desplazamiento de la población. Esta situación se vio agravada por el riesgo de que el nivel del agua sobrepasa la presa, y esto podría generar una ruptura que pudo destruir el corregimiento de Puerto Valdivia y los municipios de Tarazá, por dicha razón se llegó a la decisión de inundar la casa de máquinas con el fin de que el río Cauca regresara a su cauce natural y evitar más complicaciones, esta decisión trajo pérdidas incalculables para el proyecto.<sup>2</sup>

Teniendo en cuenta estas medidas se presentó una abertura natural de uno de los túneles que originalmente son para la desviación de agua, el cual generó una creciente del río que obligó la evacuación de una gran parte de la población, las aguas del río Cauca las cuales se encontraban represadas y se encontraban en movimiento por uno de dichos túneles, causaron una fuerte avalancha que se filtró por uno de los canales, hicieron colapsar la casa de máquinas, el que se considera centro más importante de la planta de generación eléctrica hidroituango, por ende

---

<sup>1</sup> Hidroeléctrica Hituango,2017." Información General" [En línea].  
<https://www.hidroituango.com.co/hidroituango/información-general/26>

<sup>2</sup> Elmundo.com,2018." Alerta máxima en Hidroituango por complicaciones en la represa". [En línea].  
<http://www.elmundo.com/noticia/Alerta-maxima-en-Hidroituango-por-complicaciones-en-la-represa/371151>

---

los túneles están siendo reforzados ya que se vieron fuertemente afectados por el taponamiento de los mismos.<sup>3</sup>

Se tienen que considerar los cambios que se realicen en la hidroeléctrica ya que aún no se encuentra una fase terminada, y así mismo tener en cuenta que se realizará la simulación con la información suministrada por la misma hidroeléctrica que se encuentra en sitios web y los diseños que se encuentran en sitios en línea.

## **2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cómo implementar la transferencia de conocimiento adquirida en la visita académica internacional para lograr prevenir una nueva emergencia ambiental y de infraestructura que se presentó en la central hidroeléctrica de Ituango?

---

<sup>3</sup> El espectador,2018”¿Por qué empeoró el riesgo en Hidroituango?[En línea]. <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/por-que-empeoro-el-riesgo-en-hidroituango-video-792218>

---

### 3. JUSTIFICACIÓN.

El Proyecto Hidroeléctrico Ituango se localiza sobre el río Cauca, en el llamado “Cañón del Cauca”, tramo en el cual este río, que nace en el sur del país, corre a través de profundos cañones y desciende unos 800 m.

El río Cauca es uno de los más importantes del país, con un recorrido de 1.350 km; su cuenca de unos 37.800 km<sup>2</sup> recorre más de 150 municipios de Colombia, con una población de alrededor de 10 millones de personas; descarga sus aguas al río Magdalena, que a su vez lo hace al mar Caribe, en el norte.

El proyecto está situado en el noroccidente del departamento de Antioquia, a unos 170 kilómetros de la ciudad de Medellín. Ocupa predios de los municipios de Ituango y Briceño, en donde se localizan las obras principales, y de Santa Fe de Antioquia, Buriticá, Peque, Liborina, Sabanalarga, Toledo, Olaya, San Andrés de Cuerquia, Valdivia y Yarumal, que aportan predios para las diferentes obras del proyecto. La hidroeléctrica Ituango es la generadora de energía más grande del país y una de las comercializadoras altamente competitiva en el mercado nacional e internacional, dicha hidroeléctrica produciría un estimado de 13.930 GWh anual, y cuenta con una presa que puede almacenar una cantidad de agua razonable. Este cauce no pudo ser manejado debido a la cantidad de agua que llegó almacenar, debido al invierno y al mal control de dicha presa y con el funcionamiento de almacenamiento de dicha agua, actualmente está pasando por una serie de riesgos en su estructura y en su funcionamiento, ya que no se tuvo previsto que esta cantidad de agua llegara a tal punto. Se tiene un tipo de desagües los cuales no pudieron retener tanta cantidad de agua al igual que el control para la desviación del río Cauca el cual afectó a gran cantidad de viviendas y personas de los municipios cercanos, por causa del desbordamiento de la represa y la ruptura de los túneles que controlan la ruta del agua.<sup>4</sup>

La solución propuesta a estos problemas e incidentes que se presentaron en la hidroeléctrica y en la represa permitirán el buen funcionamiento del control de esta al contar con otro sistema tecnológico y el control del nivel del agua el cual evitará que el agua llegue al límite adicional de la red de sensores que serán los encargados de activar las compuertas y dar previo aviso de una posible amenaza

---

<sup>4</sup> Hidroeléctrica Hidroituango, 2017 “Quiénes Somos”. [En línea] <https://www.hidroituango.com.co/hidroituango>.

---

con esto evitamos las consecuencias actuales además de un buen manejo del agua para poder producir la cantidad de energía estimada.

El correcto manejo de reserva del agua y el nuevo proceso para controlar el nivel del agua, así mismo controlar el paso del río Cauca, evitará el incremento de nuevos inconvenientes y desbordamiento de la presa, por dicha razón es necesario simular la forma de implementar las esclusas usadas en el canal de Panamá, pero en este caso no para emparejar océanos, si no para manejar el nivel del agua y así evitar futuros desbordamientos. Se simulará el funcionamiento por medio de dos ítems: Esclusas y Sensores para que ayudado de un ambiente controlado se pueda medir tanto la presión, caudal y profundidad, para que en el momento necesario y por medio de una orden digital, se abrirán las compuertas y permitirán el paso del agua, ya sea hacia las tinas previamente construidas o para desbordar el agua 100 KM más abajo del río, con tal de que pueda seguir su corriente sin afectar pueblos aledaños ni la naturaleza, adicional de las demás variables que podamos medir con esto y prever otro tipo de riesgo.

---

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Definir un modelo de simulación de red IoT para controlar el nivel de agua del río Cauca en la Represa de Hidroituango.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar las alternativas tecnológicas usadas en la actualidad por la represa de Hidroituango para controlar el nivel de agua del río Cauca
- Definir un modelo de flujo de información utilizando tecnología IoT asociado a la variación del nivel del agua en las compuertas de la Represa de Hidroituango.
- Simular el funcionamiento del modelo propuesto utilizando un paquete informático.

---

## 5. MARCO CONCEPTUAL

### 5.1 REPRESA

Represa, del latín *repressus*, es una obra que se lleva a cabo para contener o regular el curso del agua. El concepto se utiliza para nombrar al lugar donde las aguas quedan detenidas, ya sea de forma artificial o natural.

La represa o presa consta de una barrera de hormigón, piedra u otro material, que se construye sobre un río, arroyo o canal para embalsar el agua en su cauce. Luego esta agua embalsada puede derivarse a canalizaciones de riego o aprovecharse para la producción de energía mecánica o eléctrica.

En una represa es posible distinguir entre el embalse (el volumen de agua retenido), los taludes (que limitan el cuerpo de la represa), las compuertas (los dispositivos mecánicos que permiten regular el caudal de agua), el vertedero (donde reposa el excedente de agua cuando la represa está llena) y las esclusas (que facilitan la navegación a través de la represa), entre otros elementos.

Las represas pueden dividirse en represas de gravedad (su propio peso es el encargado de resistir el empuje del agua), represas de escollera (con forma de triángulo), represas hinchables y otros tipos.

Existe un debate histórico acerca de la construcción de represas. Por un lado, quienes están a favor afirman que el hombre debe controlar el agua para incrementar su bienestar. Los que están en contra, en cambio, sostienen que las represas son peligrosas (su eventual rotura puede causar la muerte a cientos de personas) e implican grandes cambios sociales (como desplazamientos de poblaciones o la pérdida de sitios arqueológicos) que no se justifican.

La energía mecánica de las represas puede aprovecharse en forma directa, como lo hacían los viejos molinos de agua, o bien indirectamente, para generar energía eléctrica, tal y como ocurre en las centrales hidroeléctricas.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Represa. [En línea] 2018. [Citado el: Octubre de 2018.] <https://definicion.de/represa/>

---

## 5.2. SENSORES

Un sensor físico es un dispositivo que detecta y/o mide una magnitud, estado o condición; es un dispositivo sensible a una magnitud física (posición, velocidad, temperatura...), estado o condición (presencia de una persona en una habitación, una puerta abierta o cerrada...) y que continúa y reversiblemente, da una señal que es en función de esa magnitud, estado o condición. Por consiguiente, los sensores físicos permiten monitorear y controlar diferentes procesos y fenómenos del mundo físico que nos rodea. Ellos también se han convertido en parte esencial de la vida moderna en relación con todas las actividades domésticas, económicas, científicas y culturales del ser humano.

- Sensores de Temperatura
- Sensores Ultrasónicos
- Sensores Ópticos
- Sensores de Imágenes
- Sensores Micro electromecánicos
- Sensores Magnéticos

**5.2.1. Sensores de distancia laser.** Los sensores de distancia láser o sensores láser de triangulación son una excelente Opción para la medida de distancia o desplazamiento sin contacto ni rozamiento, tal como se muestra en la Ilustración 2. Sensor laser.

Los rangos disponibles parten medir de unos pocos milímetros hasta decenas de metros, por lo que son apropiados para casi cualquier aplicación, siempre y cuando el ambiente sea limpio y lo permita. Las salidas disponibles son diversas, desde las analógicas estándar en corriente y voltaje, 4-20mA y 0-10V hasta interfaces digitales más avanzadas como ETHERCAT, ETHERNET o PROFIBUS.

Los sensores de distancia y transductores de distancia están pensados para realizar la medida de distancia lineal o desplazamiento lineal de una forma

---

automatizada, ya que proporcionan una señal eléctrica según la variación física, en este caso la variación física es la distancia.<sup>6</sup>

**5.2.2. Sensores de distancia Ultrasónicos.** Los sensores de distancia y transductores de distancia están pensados para realizar la medida de distancia lineal o desplazamiento lineal de una forma automatizada, ya que proporcionan una señal eléctrica según la variación física, en este caso la variación física es la distancia.

Son sensores compactos perfectos para medir distancia o desplazamiento sobre materiales translúcidos, irregulares, pulidos, etc... Sensor ultrasónico generando una salida correspondiente al rango de distancia medido en milímetros. Estos sensores se utilizan en aplicaciones sin contacto ni rozamiento, donde la medida de distancia por láser también queda insuficiente, debido a que es necesario medir en superficies como cristal, plástico transparente, agua, fibra, entre otros.

Todas estas superficies tienen en común que la medida óptica es errónea por el error de reflexión del láser.<sup>7</sup>

**5.2.3. Sensores de Larga Distancia.** El láser de larga distancia o distanciómetro láser difiere de los modelos de triangulación en su modo de operación y por supuesto en el rango. Como su nombre indica el sensor láser de larga distancia está orientado para la medida en medias y largas distancias, ya que su rango ajustable de medida puede ser desde 0.2m hasta 100.2m con ayuda de reflector. Estos rangos tan altos no implican imprecisión ya que se cuenta con resolución de 2 a 20mm.<sup>8</sup>

### 5.3. ESCLUSA

Las esclusas son obras hidráulicas que permiten vencer desniveles concentrados en canales navegables, elevando o descendiendo los navíos que se encuentran en

---

<sup>6</sup> SENSING S.L. 2018. SENSING. [En línea] 2018. [http://www.sensores-de-medida.es/sensing\\_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES\\_35/Sensoresde-distancia\\_36/Sensoresde-distancia-l%C3%A1ser\\_56/](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensoresde-distancia_36/Sensoresde-distancia-l%C3%A1ser_56/).

<sup>7</sup> LEIJA, LORENZO. 2009. MÉTODOS DE PROCESAMIENTO AVANZADO E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN SISTEMAS SENSORES Y BIOSENSORES. Mexico: Reverté S.A, 2009. ISBN 978-607-7815-01-3.pág 11-12

<sup>8</sup> SENSING S.L. 2018. SENSING. [En línea] 2018. [Citado el: octubre de 2018.] [http://www.sensores-de-medida.es/sensing\\_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES\\_35/Sensoresde-distancia\\_36/Sensoresde-distancia-l%C3%A1ser\\_56/](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensoresde-distancia_36/Sensoresde-distancia-l%C3%A1ser_56/).

---

ellas. Pueden formar parte de las estructuras complementarios de una presa, cuando está ya se construye sobre ríos navegables

Estas puertas son movibles que se pueden abrir y cerrar y se construyen en los canales para que puedan pasar los barcos de un lado a otro dejando que se llene o se vacíe el espacio comprendido entre las dichas puertas.<sup>9</sup>

#### **5.4. COMPUERTA**

Puerta movable que se coloca en las esclusas de los canales y en los portillos de las presas de río para detener o dejar pasar las aguas. Las compuertas son equipos mecánicos utilizados para el control del flujo del agua y mantenimiento en los diferentes proyectos de ingeniería, tales como presas, canales y proyectos de irrigación. Existen diferentes tipos y pueden tener diferentes clasificaciones, según su forma, función y su movimiento.<sup>10</sup>

Las diferentes formas de las compuertas dependen de su aplicación, el tipo de compuerta a utilizar dependerá principalmente del tamaño y forma del orificio, de la cabeza estática, del espacio disponible, del mecanismo de apertura y de las condiciones particulares de operación

**5.4.1. Compuertas Planas Deslizantes.** Se les llama compuertas deslizantes pues para su accionar se deslizan por unos rieles guías fijos. Puede ser movida por diferentes tipos de motores.

Estas compuertas pueden ser de acero estructural, madera y en caso de pequeña cabeza de hierro, el espesor y el material de la compuerta dependerán de la presión del agua y el diseño de los sellos. Al trabajar a compresión estas compuertas tienen buenas adaptaciones a los sellos presentando pequeñas fugas.

Este tipo de compuertas han sido utilizadas para todo tipo de cabezas, pero resultan ser más económicas para pequeñas cabezas y tamaños moderados pues necesitan grandes fuerzas para ser movidas.<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> Esclusa definición.2018 [en línea] <https://www.definiciones-de.com/Definición/de/esclusa.php>

<sup>10</sup> Escuela de Ingeniería de Antioquia,2018"Esclusas".[En línea]<http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>

<sup>11</sup> Universidad Nacional de Colombia."FLUJO A TRAVÉS DE COMPUERTAS"[En línea].<http://bdigital.unal.edu.co/12697/49/3353962.2005.Parte%209.pdf>

---

**5.4.2. Compuertas Planas de Rodillos.** Las compuertas planas de rodillos están diseñadas especialmente para controlar el flujo a través de grandes canales donde la economía y la facilidad de operación sean dos factores preponderantes. Son denominadas compuertas de rodillos ya que están soportadas en rodillos que recorren guías fijas y generalmente tienen sellos de caucho para evitar filtraciones a través de los rodillos. Los rodillos minimizan el efecto de la fricción durante la apertura y el cierre de las compuertas, como consecuencia de estos se necesita motores de menor potencia para moverlas. Pueden ser diseñadas para abrirse hacia arriba o hacia abajo.<sup>12</sup>

Estas compuertas son muy versátiles ya que pueden diseñarse tanto para trabajar bajo presión en una o ambas caras simultáneamente. Generalmente son de sección transversal hueca, para disminuir la corrosión e infiltraciones son rellenas con materiales inertes como el concreto.

**5.4.3. Compuertas Radiales (Taintor).** Las compuertas radiales se construyen de acero o combinando acero y madera. Constan de un segmento cilíndrico que está unido a los cojinetes de los apoyos por medio de brazos radiales. La superficie cilíndrica se hace concéntrica con los ejes de los apoyos, de manera que todo el empuje producido por el agua pasa por ellos; en esta forma sólo se necesita una pequeña cantidad de movimiento para elevar o bajar la compuerta. Las cargas que es necesario mover consisten en el peso de la compuerta, los rozamientos entre los cierres laterales, las pilas, y los rozamientos en los ejes.

Con frecuencia se instalan contrapesos en las compuertas para equilibrar parcialmente su peso, lo que reduce todavía más la capacidad del mecanismo elevador.

La ventaja principal de este tipo de compuertas es que la fuerza para operarlas es pequeña y facilita su operación ya sea manual o automática; lo que las hace muy versátiles.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2018 "Esclusas". [En línea] <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>

<sup>13</sup> Proemisa. "Compuertas taintor". [En línea] [http://www.proemisa.com/archivos\\_subidos/fitxa\\_comp\\_taintor\\_96\\_02.pdf](http://www.proemisa.com/archivos_subidos/fitxa_comp_taintor_96_02.pdf)

---

**5.4.4. Compuertas Flap o Clapetas.** Llamadas también clapetas, formadas por un tablero articulado en su arista de aguas arriba que puede abatirse dando paso al agua. Estas compuertas se abren automáticamente por un diferencial de presión aguas arriba y se cierran cuando el nivel aguas abajo supera el nivel aguas arriba o cuando el nivel aguas arriba alcance el nivel deseado de almacenamiento.

Existen compuertas clapeta de contrapeso, en las que los tableros se mantenían en su posición elevada por medio de un puntal, hasta que la sobre elevación del nivel del agua les hacía bascular sobre el extremo superior del puntal; también las hay sin contra peso que son recomendadas para aquellos casos de poca altura de agua y gran luz de vano.<sup>14</sup>

**5.4.5. Compuertas Ataguía.** Están compuestas de vigas separadas colocadas unas sobre otras para formar un muro o ataguía soportado en ranuras en sus extremos. La separación de las pilas de apoyo depende del material de las vigas, de la carga que obre en ellas, y de los medios que se disponga para manejarlas, es decir, para quitarlas y ponerlas.<sup>15</sup>

**5.4.6. Compuertas Mariposa.** Las compuertas tipo mariposa son utilizadas para controlar el flujo de agua a través de una gran variedad de aberturas. Aunque pueden ser utilizadas para controlar el flujo en ambas direcciones la mayoría de las instalaciones sólo las utilizan para controlar el flujo en una dirección.<sup>16</sup>

Con las compuertas mariposa es posible tener una máxima cabeza de energía en ambos lados de la compuerta. La cabeza estática se mide desde el eje horizontal de apertura de la compuerta. La mayoría de estas compuertas son instaladas en sitios con baja cabeza de presión (menor a 6 metros). Las secciones transversales de este tipo de compuertas normalmente son cuadradas o rectangulares; las secciones circulares no son muy comunes ya que estas se utilizan en válvulas mariposa. Son ideales cuando hay poco espacio disponible ya que, al girar respecto a un eje, no es necesario disponer de espacio para levantarlas y allí se puede ubicar el mecanismo de apertura. Estas pueden ser utilizadas como

---

<sup>14</sup> Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2018 "Esclusas". [En línea] <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>

<sup>15</sup> Quiminet, 2013. "Compuertas Flap". [En línea]. <https://www.quiminet.com/articulos/descubra-como-funciona-una-compuerta-o-ataguia-deslizante-3410415.html>

<sup>16</sup> Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2018 "Esclusas". [En línea] <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>

---

reguladoras de flujo, pues al rotar la hoja cambia el tamaño de la abertura y se regula el caudal que fluye a través de ella.

**5.4.7. Compuertas Caterpillar (Tractor).** Son también conocidas como Compuertas de Broome, en honor a su inventor. Este tipo de compuertas son utilizadas tanto para altas como para bajas cabezas de presión. Han sido utilizadas con cabezas hasta de 200 pies en varios proyectos hidroeléctricos y de control de inundaciones.

Ambos extremos de la compuerta están equipados con orugas que facilitan su desplazamiento a lo largo de ranuras paralelas a los lados de la compuerta. Las orugas se mueven alrededor de la compuerta mientras la compuerta es movida. Este tipo de compuertas es movido por medio de cables de acero tirados por motores, lo que facilita su operación bajo diferentes condiciones de flujo.

**5.4.8. Compuertas Cilíndricas.** Las compuertas cilíndricas consisten en cilindros sólidos de acero (generalmente) abiertas en ambos extremos, que funcionan por el balance de las presiones de agua en las superficies interior y exterior. Este tipo de compuertas generalmente son levantadas por medio de cables o máquinas hidráulicas; como la presión del agua siempre se encuentra balanceada, el único peso que debe ser movido es el equivalente al peso propio de la compuerta.

## **5.5. MECANISMOS COMPLEMENTARIOS**

Por sus grandes dimensiones, peso y cargas que deben soportar, las compuertas deben ser movidas por sistemas mecánicos (eléctricos, hidráulicos, manuales). Estos sistemas pueden ser de gran variedad y su utilización depende de múltiples factores tales como espacio disponible, cargas transmitidas a la estructura y por supuesto el tipo de compuerta que deben mover. Los sistemas más comunes son: pórticos, puentes grúa, vigas de alce, servomotores, contrapesos y malacates.

Se deben incluir mecanismos adicionales como: marcos, sellos, rieles, fuentes de potencia, dispositivos de transporte y sistemas de control para garantizar su buen funcionamiento.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Esclusa definición [en línea] [Citado el: Octubre del 2018] <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>

---

## 5.6. RED EN ESTRELLA

Una red en estrella es una red en la cual las estaciones están conectadas directamente a un punto central y todas las comunicaciones se han de hacer necesariamente a través de éste. Los dispositivos no están directamente conectados entre sí, además de que no se permite tanto tráfico de información. Dada su transmisión, una red en estrella activa tiene un nodo central activo que normalmente tiene los medios para prevenir problemas relacionados con el eco.

Es la topología más usada hoy en día. Consiste en una interconexión de los diferentes nodos de la red a través de un hub o switch, también llamado centro de conexiones o **concentrador**, de forma que cada nodo tenga su propio canal de transmisión. Será tarea del concentrador determinar cuáles son los datos que deja pasar. Lo que este hace es recibir la señal del emisor seleccionado y retransmitirlo sin aplicarle ningún cambio a través de todas sus otras interfaces conectadas.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Red en estrella definición [en línea]<https://aprendederedes.com/redes/introduccion/tipos-redes-informaticas/>

---

## 6. MARCO TEORICO

### 6.1. TEORIA DE LAS ESCLUSAS

Las esclusas son obras hidráulicas que permiten vencer desniveles concentrados en Canales navegables, elevando o descendiendo los navíos que se encuentran en ellas. Pueden formar parte de las estructuras complementarias de una presa, cuando ésta se construye sobre ríos navegables. El cruce de una esclusa es una operación bastante lenta; puesto que hay que equilibrar los niveles de agua, primero con el tramo de Canal donde se encuentra el navío y luego con el otro nivel hacia el que saldrá el navío.

Para el sistema tecnológico de alineación, las esclusas juegas un papel importante, en su estructura se deben instalar los sensores y demás componentes del sistema que permiten monitorear la proximidad de los buques con relación a las paredes, cada juego de esclusas tiene sus diferencias, pero el objetivo de medición es el mismo para todas.<sup>19</sup>

### 6.2. INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

La internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) es un sistema de dispositivos de computación interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que tienen identificadores únicos y la capacidad de transferir datos a través de una red, sin requerir de interacciones humano a humano o humano a computadora.

Una cosa, en la internet de las cosas, puede ser una persona con un implante de monitor de corazón, un animal de granja con un transponedor de biochip, un automóvil que tiene sensores incorporados para alertar al conductor cuando la presión de los neumáticos es baja, o cualquier otro objeto natural o artificial al que se puede asignar una dirección IP y darle la capacidad de transferir datos a través de una red.

---

<sup>19</sup>PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF NAVIGATION CONGRESSES. 1992.CANALES DE ENTRADA - DISEÑO DE CANALES. [En línea] 1992.

---

IoT ha evolucionado desde la convergencia de tecnologías inalámbricas, sistemas micro-electromecánicos (MEMS), micro servicios e internet. La convergencia ha ayudado a derribar las paredes de silos entre la tecnología operativa (OT) y la tecnología de la información (TI), permitiendo que los datos no estructurados generados por máquinas sean analizados para obtener información que impulse mejoras.<sup>20</sup>

### **6.3. TEORIA GENERAL DE SISTEMAS**

Para establecer una relación con algo que es más cercano se puede recurrir a la comparación con el enfoque analítico. En él, se pretende conocer cada pieza para estudiar los elementos por separado, aislando interacciones y componentes del resto del todo que forman. Por el contrario, el enfoque sistémico intenta englobar la totalidad de los elementos del sistema estudiado, así como las interacciones e interdependencias entre ellos. Por sistema se entiende un conjunto de elementos en interacción y se intenta investigar las invariantes que existen en la interacción de elementos. Esto no es lo mismo que intentar aplicar en otro las conclusiones extraídas para un sistema o de intentar que lo que es válido para un nivel de complejidad lo sea para otro. Esas invariantes son principios generales, estructuras y funcionamiento común a todos los sistemas.

En un sentido amplio, la Teoría General de Sistemas (TGS) se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo, como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo transdisciplinarias. En tanto paradigma científico, la TGS se caracteriza por su perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. En tanto práctica, la TGS ofrece un ambiente adecuado para la interrelación y comunicación fecunda entre especialistas y especialidades. Bajo las consideraciones anteriores, la TGS es un ejemplo de perspectiva científica (Arnold & Rodríguez, 1990a). En sus distinciones conceptuales no hay explicaciones o relaciones con contenidos preestablecidos, pero sí con arreglo a ellas podemos dirigir nuestra observación, haciéndola operar en contextos reconocibles.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Internet de las cosas.[En línea].

<https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Internet-de-las-cosas-IoT>

<sup>21</sup>Arnold, M. "Teoría de Sistemas, Nuevos Paradigmas: Enfoque de Niklas Luhmann". Revista Paraguaya de Sociología. Año 26. Nº75. Mayo-Agosto. 1989. Páginas 51-72

---

#### 6.4. FASES DE DESARROLLO DE SIMULACIONES

Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular es necesario hacer primeramente un análisis preliminar del mismo con el fin de determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio<sup>22</sup>.

Una vez que están definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que se describen en forma completa al modelo.

El término simulación ha sido interpretado por varios autores desde su formación y conocimiento, desde sus inicios se definió como una técnica numérica para la realización de experimentos en un computador digital, con ciertos tipos de modelos lógicos que describen el comportamiento de un sistema económico (Naylor & Boughton, 1971), esto con el fin de entender el comportamiento del sistema real o evaluar varias estrategias para la operación del sistema (Shannon, 1975). Su objetivo es modelar el mundo real, reduciéndolo a una estructura más simple (modelo) mediante el uso de la computadora, que corresponde a una representación limitada de la realidad atendiendo los propósitos claramente definidos para el estudio o aplicación (Knepell & Arangno, 1993), (Law & Kelton, 2000), (Guasch Petit, Piera, Casanovas, & Figueras, 2003), (Báez Sentíes, Torres Osorio, Alvarado Lassmann, Ortiz Flores, & Moras Sánchez, 2008) y luego codificarlo en un entorno de simulación para poder realizar experimentos y analizar los resultados con el fin de mejorar el rendimiento del sistema. Cuando mayor sea el grado de aproximación de la simulación a la realidad, mayor será su utilidad (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita, 2003). Estos experimentos se caracterizan porque el modelo evoluciona o se desarrolla en el tiempo (Winston, 1994) y (Ross, 1999).<sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> División Académica de Informática y Sistemas, M. En C. Simón Javier Hernández Gaspar, 2010.

<sup>23</sup> Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014) "Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity" July 22 - 24, 2014 Guayaquil, Ecuador.

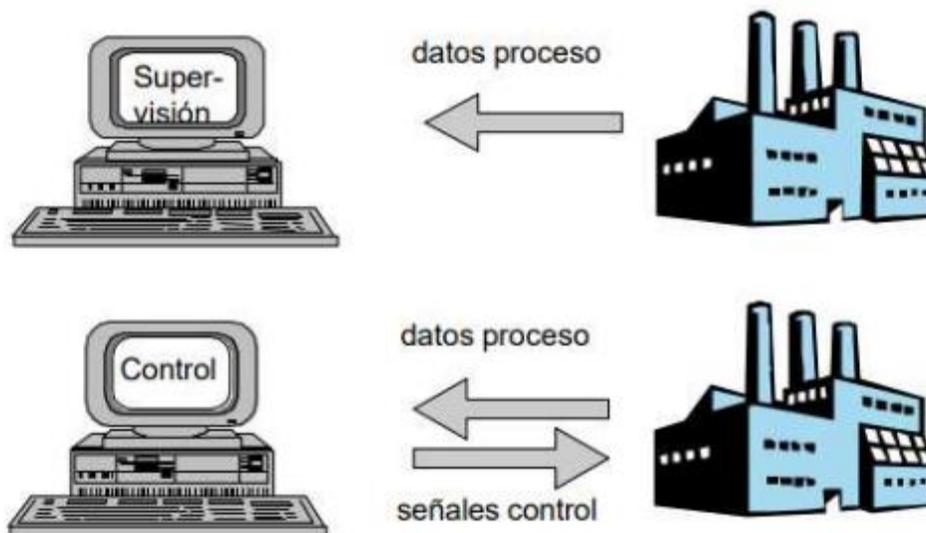
---

El término CAD se puede definir como el uso de sistemas informáticos en la creación, modificación, análisis u optimización de un producto. Dichos sistemas informáticos constarían de un hardware y un software.

El término CAM se puede definir como el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de producción. Ver Ilustración Supervisión y control.

Así pues, las aplicaciones del CAM se dividen en dos categorías: Interfaz directa: Son aplicaciones en las que el ordenador se conecta directamente con el proceso de producción para monitorizar su actividad y realizar tareas de supervisión y control. Así pues, estas aplicaciones se dividen en dos grupos: <sup>24</sup>

- Supervisión: implica un flujo de datos del proceso de producción al computador con el propósito de observar el proceso y los recursos asociados y recoger datos.
- Control: supone un paso más allá que la supervisión, ya que no solo se observa el proceso, sino que se ejerce un control basándose en dichas observaciones.



**Ilustración 1 Proceso CAM**

---

<sup>24</sup> ALBARRÁN LIGERO, JUSTO. 2013. INTRODUCCIÓN AL CAD/CAM. [En línea] febrero de 2013. <https://lenguajedeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introducccic3b3n-al-cad-cam.pdf>.

---

Fuente: ALBARRÁN LIGERO, JUSTO. 2013. INTRODUCCIÓN AL CAD/CAM. [En línea] febrero de 2013. <https://lenguajedeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introduccion3b3n-al-cadcam.pdf>

**6.4.1. Interfaz indirecta.** Se trata de aplicaciones en las que el ordenador se utiliza como herramienta de ayuda para la fabricación, pero en las que no existe una conexión directa con el proceso de producción. Los fundamentos de los sistemas de Diseño y fabricación asistidos por ordenador son muy amplios, abarcando múltiples y diversas disciplinas, entre las que cabe destacar las que se muestran en la Ilustración. **Componentes del CAD/CAM.**



**Ilustración 2 Componentes del CAD/CAM**

Fuente: ALBARRÁN LIGERO, JUSTO. 2013. INTRODUCCIÓN AL CAD/CAM. [En línea] febrero 2013. <https://lenguajedeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introduccion3b3n-al-cadcam.pdf>

Los sistemas destinados para tal fin contienen las herramientas suficientes para generar un escenario similar para el sistema de esclusas y los sensores

---

con esto, la representación del sistema tecnológico de Hidroituango para controlar el nivel del agua. CAD/CAM Systems:

- FreeMill
- PyCAM
- HeeksCNC
- CncSimple
- SharpCAM
- ProFold

**6.4.2. Simulación.** Tipos de simulación De acuerdo con la naturaleza del modelo empleado, la simulación puede ser por:

- **Identidad:** Es cuando el modelo es una réplica exacta del sistema en estudio. Es la que utilizan las empresas automotrices cuando realizan ensayos de choques de automóviles utilizando unidades reales.
- **Cuasi-identidad:** Se utiliza una versión ligeramente simplificada del sistema real. Por ejemplo, los entrenamientos militares que incluyen movilización de equipos y tropas, pero no se lleva a cabo una batalla real.
- **Laboratorio:** Se utilizan modelos bajo las condiciones controladas de un laboratorio. Se pueden distinguir dos tipos de simulaciones:
- **Juego operacional:** Personas compiten entre ellas, ellas forman parte del modelo, la otra parte consiste en computadoras, maquinaria, etc. Es el caso de una simulación de negocios donde las computadoras se limitan a recolectar la información generada por cada participante y a presentarla en forma ordenada a cada uno de ellos.
- **Hombre-Máquina:** Se estudia la relación entre las personas y la máquina. Las personas también forman parte del modelo. La computadora no se limita a recolectar información, sino que también la genera. Un ejemplo de este tipo de simulación es el simulador de vuelo.
- **Simulación por computadora:** El modelo es completamente simbólico y está implementado en un lenguaje computacional. Las personas quedan excluidas del modelo. Un ejemplo es el simulador de un sistema de redes de comunicación donde la conducta de los usuarios está modelada en forma estadística. Este tipo de simulación a su vez puede ser:
- **Digital:** Cuando se utiliza una computadora digital.

- 
- Analógica: Cuando se utiliza una computadora analógica. En este grupo también se pueden incluir las simulaciones que utilizan modelos físicos.<sup>25</sup>

**6.4.3. Simulación por computadora.** Un simulador por computadora está compuesto por las siguientes partes: - Un modelo: Es un modelo simbólico. Puede ser un conjunto de ecuaciones, reglas lógicas o un modelo estadístico.

- El evaluador: Es el conjunto de procedimientos que procesarán el modelo para obtener los resultados de la simulación. Puede contener rutinas para la resolución de sistemas de ecuaciones, generadores de números aleatorios, rutinas estadísticas, etc.
- La interfaz: Es la parte dedicada a interactuar con el usuario, recibe las acciones de este y presenta los resultados de la simulación en una forma adecuada. Esta unidad puede ser tan compleja como la cabina utilizada en los simuladores de vuelos profesionales.<sup>26</sup>

**6.4.4. Modelación de procesos.** De esta manera, al simular procesos debemos de dar en primer lugar una definición de qué es un proceso. Un proceso se podría definir como una serie de actividades lógicas relacionadas secuencialmente que toma un input de un suministrador, le añade valor y produce un output para el cliente. Un proceso generalmente integra más de una función dentro de la estructura organizativa y ello posee un impacto significativo en el curso de las funciones de la organización. Cuando un proceso es demasiado complejo para ser un diagrama a nivel de una actividad, se divide, frecuentemente en subprocesos. De esta manera definiríamos un subproceso como una parte de un proceso principal que logra un objetivo específico en apoyo del proceso principal o proceso clave. Dentro de un proceso o de un subproceso se realizan las actividades definidas a su vez por tareas que las realizan personas o departamentos y se documentan frecuentemente en una instrucción, en términos de las tareas que implica la actividad. Las tareas son los elementos individuales de una actividad. Normalmente las tareas se relacionan con la manera en que un recurso desarrolla un cometido específico.<sup>27</sup>

---

<sup>25</sup> TARIFA, ENRIQUE EDUARDO. Teoría de Modelos y Simulación. [En línea] [http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051\\_TecnicasII/Simulacion.pdf](http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051_TecnicasII/Simulacion.pdf).

<sup>26</sup> TARIFA, ENRIQUE EDUARDO. Teoría de Modelos y Simulación. [En línea] [http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051\\_TecnicasII/Simulacion.pdf](http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051_TecnicasII/Simulacion.pdf).

<sup>27</sup> Carmen Fullana Belda, Elena Urquía Grande .LOS MODELOS DE SIMULACIÓN: UNA HERRAMIENTA MULTIDISCIPLINAR DE INVESTIGACIÓN.[En línea].

---

## 6.5. CISCO PACKET TRACER

Es una herramienta informática de simulación de redes innovadora y potente que se utiliza para prácticas, detecciones y resolución de problemas, Packet Tracer es una plataforma simulación de redes que ayuda a experimentar con el comportamiento de las redes y a formular preguntas sobre situaciones hipotéticas. Funciona como complemento de los equipos físicos en el salón de clases: los estudiantes pueden crear una red con un número casi ilimitado de dispositivos, lo que estimula la práctica y la detección y solución de problemas.<sup>28</sup>

Cisco Packet Tracer administra la topología física de la red utilizando el dispositivo que desee usar para el montaje de la red que quiera simular. Cuenta con una interface gráfica para la configuración del dispositivo y la asignación de las direcciones. Esta herramienta cuenta con una simulación de conectividad la cual puede facilitar el montaje de una red antes de ser implementada en una red real.

Según el informe de Responsabilidad Social Corporativa 2017, Cisco Networking Academy, también conocida como NetAcad, ha educado hasta el momento a más de 7,8 millones de personas en más de 170 países. Forma más de veintidós mil educadores en todo el mundo y puede contar con más de diez mil instituciones asociadas. Muchos de estos estudiantes han utilizado Cisco Packet Tracer en su educación de Cisco.<sup>29</sup>

Packet Tracer se enfoca en apoyar mejor los protocolos de redes que se enseñan en el currículum de la certificación cisco.

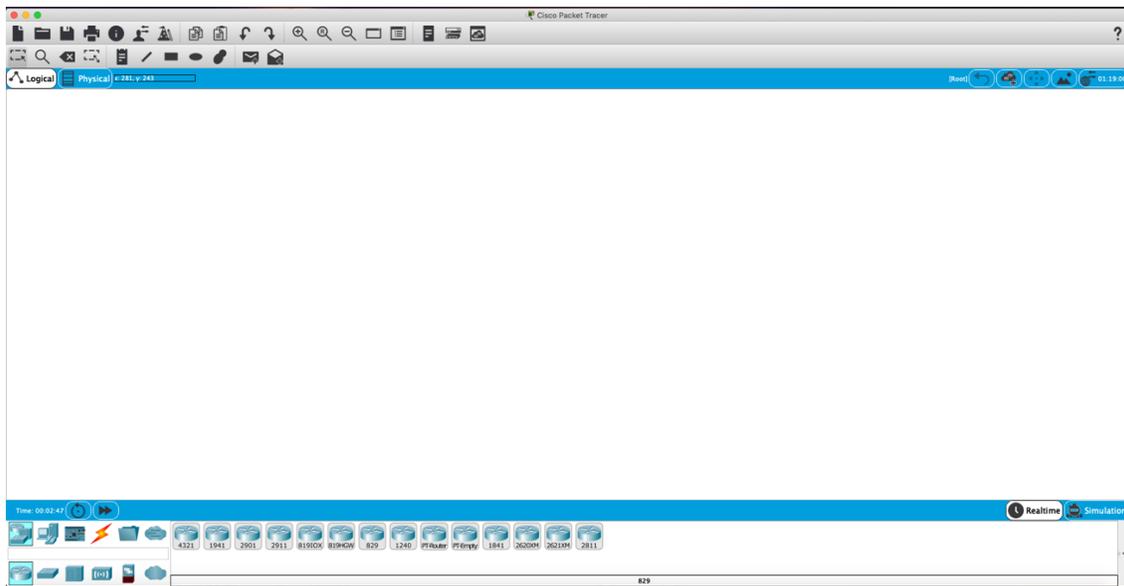
En el momento en que se desarrolló este trabajo de grado, la última versión disponible era la 7.2.2.0418

---

[http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA32/Carmen\\_Fullana\\_Belda\\_y\\_Elena\\_Urqu%C3%ADa\\_Grande.pdf](http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA32/Carmen_Fullana_Belda_y_Elena_Urqu%C3%ADa_Grande.pdf)

<sup>28</sup> Cisco Network Academic. Cisco Packet Tracer [En línea] <https://www.packettracernetwork.com/>

<sup>29</sup> Corporate Social Responsibility. (2018). Retrieved from Cisco [En línea] <https://www.cisco.com/c/en/us/about/csr.html>



**Ilustración 3 Interfaz de usuario de Cisco Packet Trace**

A partir de la versión 7.0, Cisco también introdujo funcionalidades de IoT en la herramienta, permitiendo a los estudiantes practicar mediante la configuración de dispositivos IoT y automatizaciones de IoT. También se ofreció la posibilidad de una simulación de IoT de nivel inferior utilizando una computadora (SBC) y un sensor en la misma versión.

---

## 7. ESTADO DEL ARTE

Los sensores han sido tradicionalmente elementos indispensables en los procesos industriales debido a la capacidad que proporcionaban de monitorizar y manipular las magnitudes físicas involucradas en los diferentes procesos productivos. La conectividad entre los sensores se realizaba mediante el uso de redes cableadas tradicionales. Actualmente los continuos avances tecnológicos han incentivado el desarrollo de dispositivos con capacidades de comunicación inalámbrica, dispuestos en cualquier localización, cada vez más pequeños, autónomos, más potentes y con un consumo de batería más eficiente; de ahí surge las redes de sensores inalámbricos (WSN, Wireless Sensor Network), que están compuestas por una serie de miles, incluso millones de sensores, llamados nodos, los cuales poseen capacidad de almacenamiento, procesamiento y energía limitada.

El continuo desarrollo de estas particulares redes ha provocado su incorporación y uso en ámbitos muy dispares. Desde la monitorización ambiental (humedad, temperatura, luz, etc.) fundamental para el desarrollo de la domótica, pasando por las aplicaciones militares, industriales, médicas o comerciales [1].

### 7.1. Características

Entre las características que poseen las redes de sensores se encuentran las siguientes:

- 7.1.1. **Topología y Mantenimiento:** En general los nodos que forman las redes de sensores se caracterizan por estar aleatoriamente distribuidos sin seguir ninguna topología regular. Debido a ello se recomienda que el mantenimiento y configuración sea completamente autónomo (no requiera de la intervención humana) mediante el uso de algoritmos distribuidos.

Uno de los principales cuellos de botella que encontramos en las operaciones realizadas por los sensores es, la disponibilidad energética de los nodos. Los sensores en la mayoría de los casos poseen baterías que se caracterizan por no poder ser recargadas, lo cual convierte este problema en la principal restricción a la hora de desarrollar nuevos protocolos. Aumentar el tiempo de vida de un sensor implicará, por tanto, disminuir los niveles de tolerancia o limitar la precisión de los resultados obtenidos<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> Improving Dam and Reservoir Operation Rules Using Stochastic Dynamic Programming and Artificial Neural Network Integration Model. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/19/5367>

---

Adicionalmente el modelo hidráulico o hidrológico basado en la física, simulará la dinámica del flujo del agua en una red fluvial contra el espacio y el tiempo con condiciones de límite de alcance variables que pueden aplicarse para el caso de la corriente del río Cauca. Dichos modelos de corrientes se refieren a los modelos hidrológicos o hidráulicos con base física que generalmente ayudan en la parte crucial de la predicción de inundaciones, el pronóstico de inundaciones y la fluctuación de las mareas que pronostica los niveles de los ríos en áreas propensas a inundaciones fuera de la corriente central del río Cauca. Para la configuración de cualquier modelo de río, las mediciones de la geometría del río, la profundidad / pendiente del lecho, el mapeo de la llanura de inundación y el flujo de la condición de límite son esenciales. La descarga y el nivel del agua en el alcance del río de Ambika están controlados por la presa Jhuj y Kelia, que está a 68.9 y 57.6 km de la ciudad de Navsari, respectivamente. Los grandes eventos de inundación ocurrieron en los años 1981, 1994, 1997, 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2013 y 2014<sup>31</sup>.

Por lo tanto, es muy necesario que los eventos de inundación sean estudiados y analizados adecuadamente para proponer un control de inundación adecuado y medidas de protección a tiempo. En la actualidad, la capacidad de carga del río Ambica es de aproximadamente 2.5 lakhs cusecs (7079 m<sup>3</sup> / s). En la actualidad, se usa un modelo unidimensional que fue publicado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU., Es decir, HEC-RAS 5.0.4. sobre el alcance del río de Ambica, Navsari. Actualmente se está realizando una simulación hidrodinámica para calcular los perfiles de la superficie del agua para la descarga de inundación de cinco picos del año 1981, 1994, 1997, 2004 y 2006. Por lo tanto, se tomarán como medidas desde Ichhapore hasta la aldea de Salej, que tiene aproximadamente 1170 m de largo seleccionado para fines de estudio. Las secciones calculadas se comparan con las secciones existentes en el alcance del río y se verifica si las secciones son críticas o no. Con base en el estudio anterior, se recomienda que las secciones transversales sobre las cuales el agua se superpone en la sección, diques o retenciones existentes se construyan o se deban elevar.

Por último La red Soldier Radio Waveform (SRW) es una especie de red móvil ad hoc. Es principalmente adecuado para comunicaciones tácticas o de emergencia. El mecanismo de control de Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) de Barrage Relay Network (BRN) se utiliza en SRW. Para realizar un estudio de simulación en BRN, se construye un grupo de modelos de red, modelos de nodo y modelos de proceso de BRN con kits de simulación OPNET. Además, el estudio de simulación incluye la Región de bombardeo controlado (CBR), que es una aplicación representativa de BRN<sup>32</sup>.

---

<sup>31</sup> Hydrodynamic Simulation of River Ambica for Riverbed Assessment: A Case Study of Navsari Region. [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-8181-2\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-8181-2_10)

<sup>32</sup> Simulation Studies on Barrage Relay Networks. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8787694>

---

## 8. METODOLOGIA

La metodología propuesta para desarrollar proyectos de Simulación comienza con una etapa de Modelización de la realidad que se quiere analizar en la cual deben estar involucrados, tan activamente como sea posible, los Usuarios Finales. Esta actividad debería servir, además, para capacitarlos en el entendimiento de ciertos formalismos y estructuras, basados en herramientas de Investigación Operativa. Cabe destacar que cuando hablamos de los Usuarios Finales, estamos haciendo referencia a las personas a quienes resultaría de utilidad los resultados que se obtengan al correr programas elaborados sobre la base de los modelos que representaran la operación que se desea simular.<sup>33</sup>

### 8.1. MÉTODO DEDUCTIVO

Para el desarrollo de la propuesta el método utilizado es el deductivo donde se va de lo general a lo específico, este comienza dando paso a los datos en cierta forma válidos, para llegar a una deducción a partir de un razonamiento de forma lógica o suposiciones, se aplican diferentes temáticas de una forma general y se lleva a la solución de un problema en específico, el objetivo es una propuesta que emplea variables que se pueden identificar en los diferentes escenarios de la visita y que permita mitigar los problemas y los incidentes causados en la represa de Hidroitungo.

A través de este método vamos a tomar la idea de funcionamiento de las esclusas de Panamá por medio de esclusas y red de sensores e implementarlas en una simulación que permita mejorar el control de emergencia de la Hidroeléctrica de Ituango, con esto estaremos mejorando un aspecto social directamente desde el ámbito de la ingeniería.

### 8.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Por tratarse de una metodología experimental en la que hay información de naturaleza mixta, se emplea el método descriptivo el cual se enfoca el esfuerzo en describir una realidad o un evento con todas las variables principales, también es

---

<sup>33</sup> Facultad de Ciencias Exactas - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires."CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN ORIENTADOS A ALENTAR LA PARTICIPACIÓN DE USUARIOS FINALES UTILIZANDO UML"

---

de explicativa debido a que se relacionan los experimentos o eventos con la causa del problema.

En la recolección de la información requerida, se realizará una vista en campo, grabaciones de audio a los ingenieros que están encargados en la operación del canal de Panamá, y con esto tomar la mejor decisión para realizar la simulación con los requerimientos necesarios para que en un futuro pueda ser llevado a la realidad.

Usaremos una metodología cuantitativa ya que al realizar el análisis y posteriormente implementando el proyecto, verificaremos por medio de las tres variables (Presión, Caudal y Profundidad), la posibilidad de avisar con antelación sobre un riesgo para la comunidad.

Nuestra investigación se realizará en busca de conclusiones ya que el único fin de este proyecto es si es posible prevenir los posibles riesgos que impone trabajar con el caudal de un río tan importante como el Cauca.

Al realizar esta simulación nos daremos cuenta si efectivamente funciona generar un costo tan alto para el proyecto, con esto si la simulación sale con los resultados esperados, después se podrá implementar en tiempo real y ponerla en funcionamiento tanto en la hidroeléctrica de Ituango como en demás Hidroeléctricas que se quieran construir.

Nuestra fuente va a ser de forma metodológica ya que indagaremos sobre cómo se encuentra funcionando en la actualidad las esclusas en el canal de Panamá, recolectamos datos de cómo podemos usar este sistema tecnológico en la represa y así poder hacer efectivo nuestro sistema de tecnológico.

### **8.3. RECOLECCIÓN DE DATOS**

La fase de recolección de los datos o fuentes de información se realizará en las esclusas que encuentran ubicadas en Panamá llamadas Miraflores y Cocolí, además de la información que es recolectada con herramientas de búsqueda y así obtener toda la información necesaria sobre Hidroituango en sus sitios web oficiales donde se encuentra una parte importante de información, teniendo en cuenta la investigación y análisis se realiza en Bogotá con el uso de herramientas de búsqueda en línea, libros, revistas y otras investigaciones relacionadas.

El sistema planteado permite que el nivel del agua represado se mantenga en un rango óptimo y el proceso que lleva en el paso por la represa se realice con éxito.



**Ilustración 4 . Sistema Recolección Datos**

La transferencia de conocimiento adquirida por expertos en el canal de Panamá tuvo como objetivo la observación de los procesos utilizados actualmente, con el uso de esclusas y compuertas, de tal manera que nos permitió identificar este modelo utilizado para poder simular su implementación en la represa de Hidroituango y proponer el sistema del control del agua.



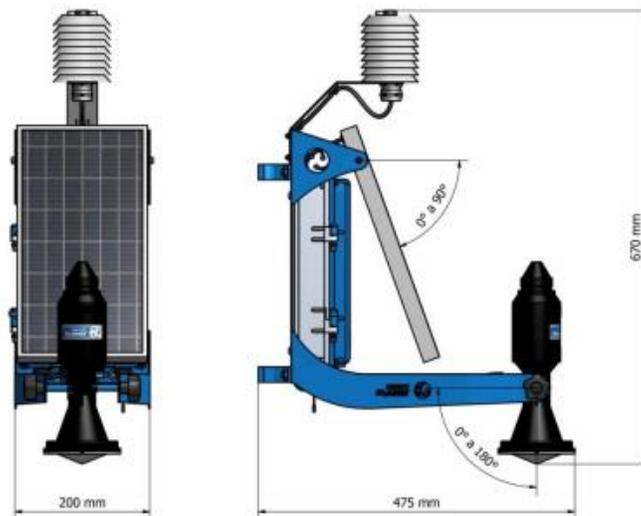
<b>SENSOR</b>	<b>COORDENADAS</b>	<b>LUGAR</b>
1	7° 8'25.02"N 75°39'9.63"O	RIO CAUCA SALIDA HIDROITUANGO (Desvío)
2	7° 7'11.04"N 75°39'57.70"O	TINA NUMERO 1
3	7° 7'10.77"N 75°40'0.60"O	TINA NUMERO 2
4	7° 7'10.81"N 75°40'3.09"	TINA NUMERO 3

**Tabla 1. Coordenadas de ubicación**

## **9.2. SENSORES PARA MEDICIÓN**

Para este trabajo de grado se van a utilizar los sensores Smarty River, estos sensores son una innovación en el mercado actual, cuentan con un diseño compacto y un tamaño pequeño, lo cual facilita la instalación en los puntos estratégicos a lo largo del Río Cauca y en cada una de las tinas de almacenamiento externo.

El sensor maneja energía solar y miden las diferentes variables del agua por medio de ultrasonidos; este sensor nos permite medir el Caudal, Profundidad y Presión además de la pluviometría y la temperatura.



**Ilustración 6 Sensor de Medición**

Sensor Smarty River Fuente: <https://www.smartyplanet.com/soluciones/smarty-river/>

Este sensor cuenta con:

- Sensor de humedad y temperatura ambiental protegidos en garita anti-radiación.
- Panel solar de 5w, regulador de carga MPPT y batería de Li-po .
- Modem GPRS y antena de comunicación a la web de monitoreo Smarty Planet.
- Sensor limnógrafo ultrasónico para conocer el nivel del agua.
- Sensor de temperatura por infrarrojos.
- Protocolo de comunicación: TCP.
- Datos almacenados en Cloud Data Server seguro.
- Caja con protección IP-68.

Este sensor se conecta por medio de direccionamiento estático a través de direcciones IP públicas apuntando a una VRF (Virtual Routing and Forwarding), se tomará una IP clase C (192.0.0.1) con una máscara de subred 255.255.255.254.

Por medio de estas IP se recibirán los tres datos primordiales como son Caudal Profundidad y Presión en los 4 sensores instalados, ya que por medio de estos datos el software realizará acciones en Pro de evitar una emergencia.

Opcionalmente, cuenta con un brazo de soporte, el cual los sensores pueden instalarse de diferentes formas, de esta manera se puede optimizar la ubicación del

panel solar y colocar el sensor allí donde sea necesario. Este brazo permite una fácil regulación y orientación del sensor gracias a los pomos de sujeción de goma. En esta nueva estructura podemos integrar cualquier tipología de sensor o estación meteorológica. (Smarty Planet).



**Ilustración 7 Sensor Medición Río.**

**9.2.1. Instalación plug and play.** El diseño de esta Estación permite su instalación bajo el concepto 'enchufar y listo'. Se coloca de forma sencilla sobre postes, paredes o mástiles, y su vinculación con la web de visualización es inmediata y automática.

### **9.2.2. Mejor relación Coste-Beneficio.**

El nuevo concepto de estación de sensores permite disponer de la mejor tecnología para monitorizar y controlar sus recursos a un coste muy inferior a otras alternativas existentes en el mercado.

### **9.2.3. Redes de sensores.**

El número de Estaciones a vincular a su red es ilimitado, pudiendo incorporar diferentes modelos y configuraciones para formar redes extensas que conecten la

---

información de sus recursos a internet.

#### **9.2.4. Visualización en página web.**

El control de los sensores se realiza mediante una aplicación web personalizada con múltiples funcionalidades como alarmas, históricos, múltiples usuarios.

Principio de medición por impulsos de microondas extremadamente cortos son emitidos por el sistema de antenas sobre el agua a medir, reflejados por la superficie del agua y captados nuevamente por el sistema de antenas. Los mismos se propagan a la velocidad de la luz. El tiempo desde la transmisión hasta la recepción de la señal es proporcional al nivel. Un proceso especial de alargamiento de tiempo posibilita la medición exacta y segura de los tiempos extremadamente cortos. Los sensores de radar trabajan con potencia de transmisión muy baja en las gamas de banda de frecuencia K. Un probado procesamiento de señales filtra con seguridad el eco de nivel correcto a partir de un sin número de reflexiones parásitas.

**9.2.5. Transmisión de datos:** El proceso de transmisión de datos comienza en la red de estaciones remotas, que recogen los datos de las variables de caudal, profundidad y presión de manera permanente; posteriormente se envían los datos a través de la red 3G. Esta información se envía a un servidor apto para la captura de esa información, que interactúa con las 9 estaciones de monitoreo.

Una vez almacenados, los datos son procesados a través del software, que permite la administración de las señales de acuerdo a sus prioridades, las cuales son completamente definidas por el administrador del software, entregando las ayudas necesarias al operador para realizar una ágil atención de los eventos.

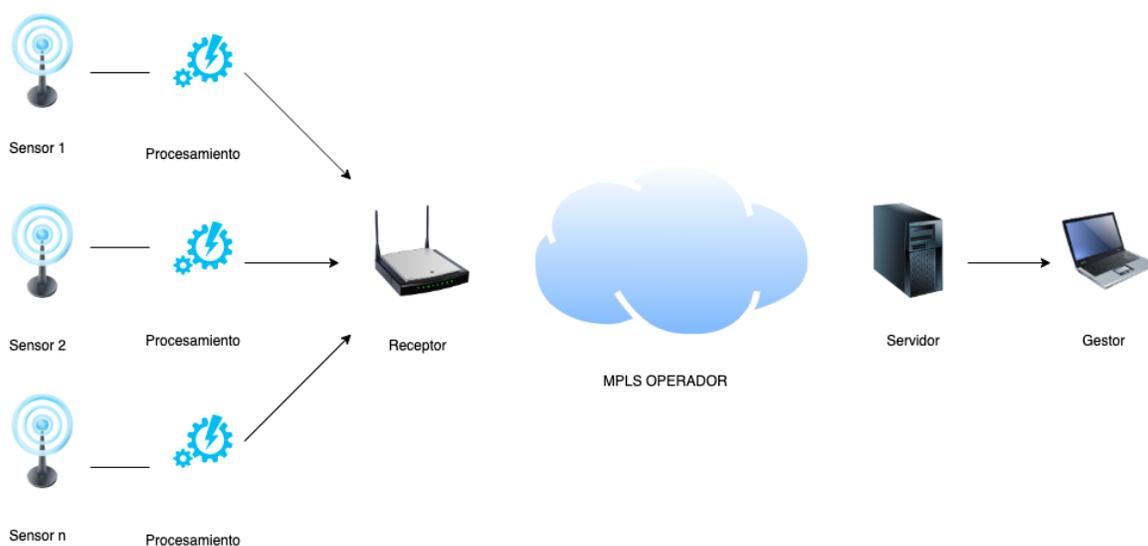
**9.2.6. Monitoreo constante:** Tiene por objetivo principal generar información en tiempo real respecto de los datos transmitidos por la red de 4 puntos de monitoreo distribuidos dentro del río Cauca, estos sensores reportan y alertan sobre posibles desbordes o inundaciones, permitiendo de esta manera, implementar planes de contingencia ante situaciones críticas.

Esta red de monitoreo cuenta, como se menciona anteriormente, con una serie de 12 instrumentos de medición hidrometeoro lógico y visual, es decir, 10 sensores, un servidor y un software. La información transmitida por los sensores identifica si existe un incremento considerable en el nivel de caudal del río, la información provista proporciona una idea de la ubicación de ocurrencia del evento. Se calcula en base a estos datos el porcentaje de nivel de alerta al que corresponda el tirante

registrado. La comprobación del correcto funcionamiento de los instrumentos se verifica desde la estación de monitoreo, mediante la visualización de la pantalla que debe mostrar el registro coincidente con la hora y fecha de lectura.

### 9.3. SOLUCIÓN PLANTEADA

Se considera el siguiente esquema:



**Ilustración 8 Esquema de Red**

El sensor se conectará por ip estática al servidor para llevar la información necesaria, tomarán las siguientes IP's:

IP	MASCARA	HOST
192.168.0.0	255.255.255.0	Dirección de Red
192.168.0.1	255.255.255.0	Dirección de gateway
192.168.0.2	255.255.255.0	Sensor 1
192.168.0.6	255.255.255.254	Sensor Tina 1

192.168.0.7	255.255.255.254	Sensor Tina 2
192.168.0.8	255.255.255.254	Sensor Tina 3
192.168.0.2	255.255.255.254	Servidor

**Tabla 2. IPs Red**

#### 9.4. ESCENARIOS POSIBLES.

Para los tres posibles escenarios se tendrán en cuenta los siguientes parámetros:

Nivel	Caudal	Profundidad
Alerta Máxima	4,000 m <sup>3</sup> /s	3,5 M
Alerta Media	3,000 m <sup>3</sup> /s	2,5 M
Alerta Baja	2,000 m <sup>3</sup> /s	1 M

**Tabla 3. Medidas de alerta**



**Ilustración 9 Niveles de caudal**

---

Acciones según el Nivel:

**9.4.1. Alerta Baja:** Los sensores continuarán su monitoreo constante ya que no implica un peligro para la población el estado del río.

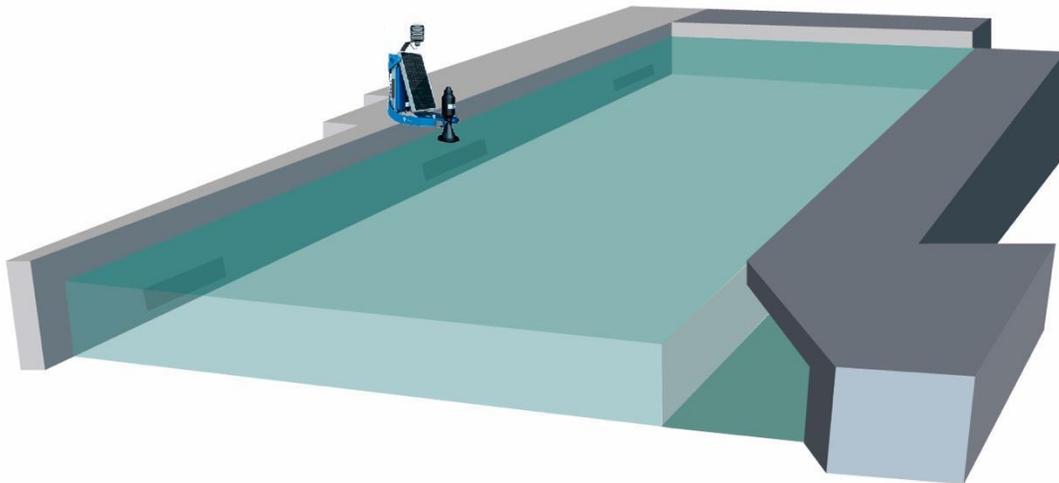
**9.4.2. Alerta Media:** Se declara alerta naranja y los sensores activan las esclusas con el fin de bajar la profundidad del río y así poder devolver la alerta a un estado bajo.

**9.4.3. Alerta Alta:** Posteriormente de activar las esclusas, el sensor de la tina 3 determinara el llenado de esta y si está al tope activará el plan de desvío del río, mientras que la represa desocupa el agua de las tinas con la generación de la energía.

---

## 10. SIMULACIÓN

Para visualizar el funcionamiento total del sistema planteado se muestran los diferentes escenarios del sistema de modelamiento en Packet Tracer, animación y simulación, la elección es determinada con base en las características, utilidad y agilidad en el proceso de diseño, para el proceso se utiliza Cisco Packet Tracer, herramienta con la cual se hizo el diseño de simulación de los sensores. En la simulación se puede evidenciar las diferentes vistas del modelo y en las diferentes capas las estructuras necesarias para dar origen al despliegue del sistema. A continuación, se muestra el diseño de las tinas donde se almacenará el agua del río Cauca en caso de ser necesario como se muestra en la ilustración 9.



**Ilustración 10** Tina de almacenamiento de agua

---

En la ilustración 10 se puede observar el diseño de la tina de almacenamiento de agua desde otra perspectiva con el sensor de medición de agua (Smarty River).



**Ilustración 11 Tina de almacenamiento de agua**

En la ilustración 11 se muestra el esquema general de la red a simular en el escenario real, tomado satelitalmente desde google Earth, la ubicación de las tinas de almacenamiento de agua y la ubicación de los sensores de medición.



**Ilustración 12 Esquema general**

Perspectiva número 2 de la simulación de la ubicación de los sensores y las tinas de almacenamiento de agua.

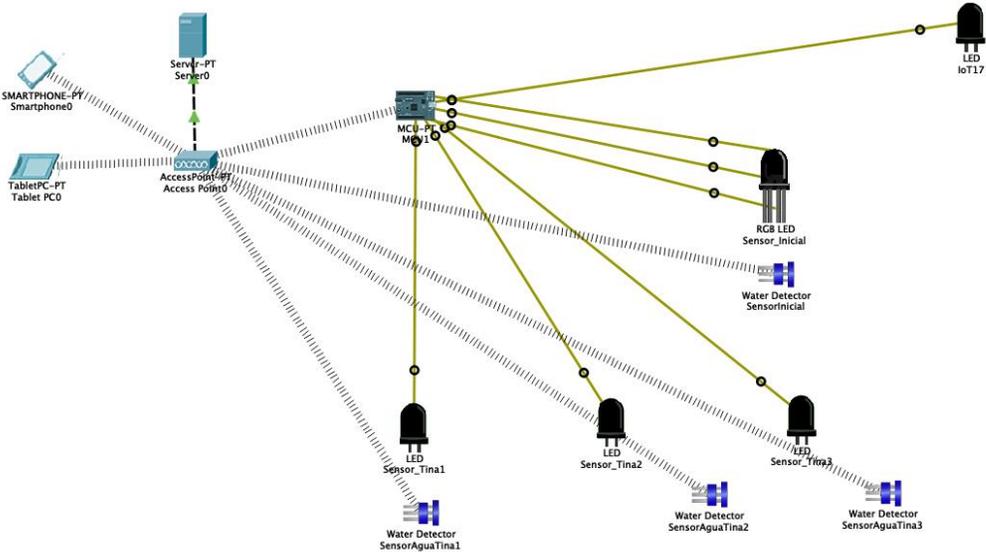


**Ilustración 13 Esquema general**

#### Recursos necesarios

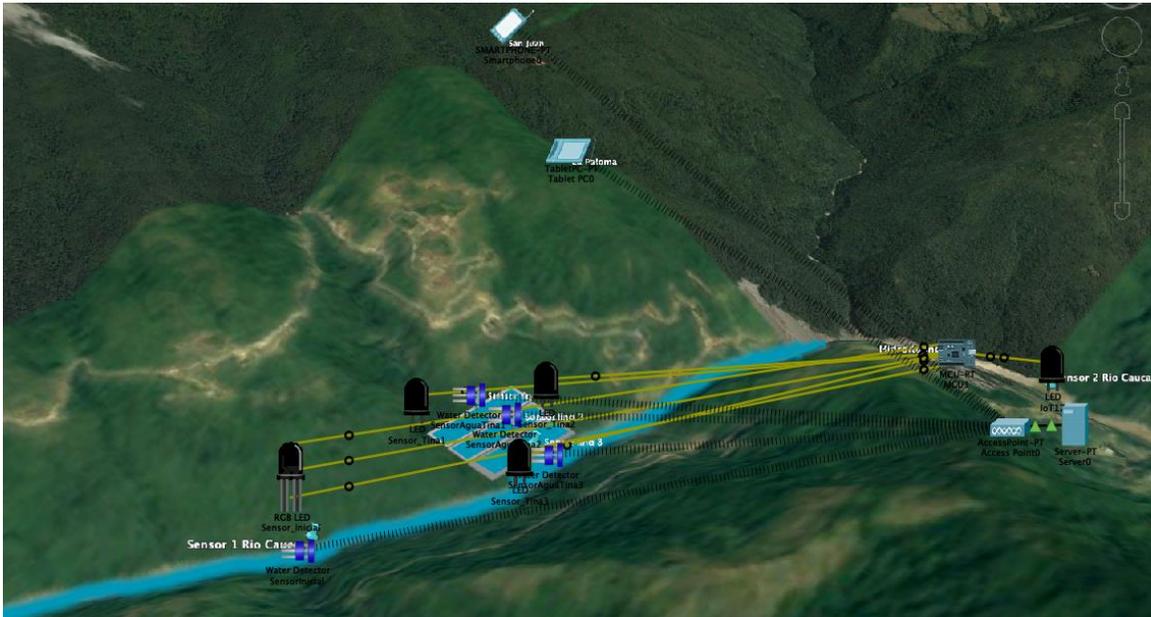
- 1 Acces Point (Cisco PT con IOS de Cisco versión 15.2(4)M3, imagen universal o similar)
- 1 servidor (Cisco 2960 con IOS de Cisco versión 15.0(2), imagen lanbasek9 o similar)
- 1 Wirelees Tables.
- 1 Smart Device
- 4 Water Detector (IOT)

En la ilustración 13 está la simulación en Cisco Packet Tracer en su esquema general desde el escenario del programa.



**Ilustración 14 Esquema general Cisco Packet Tracer**

En la ilustración 14 se muestra la simulación desde el escenario planteado anteriormente donde se observa como es el montaje de la simulación satelitalmente.



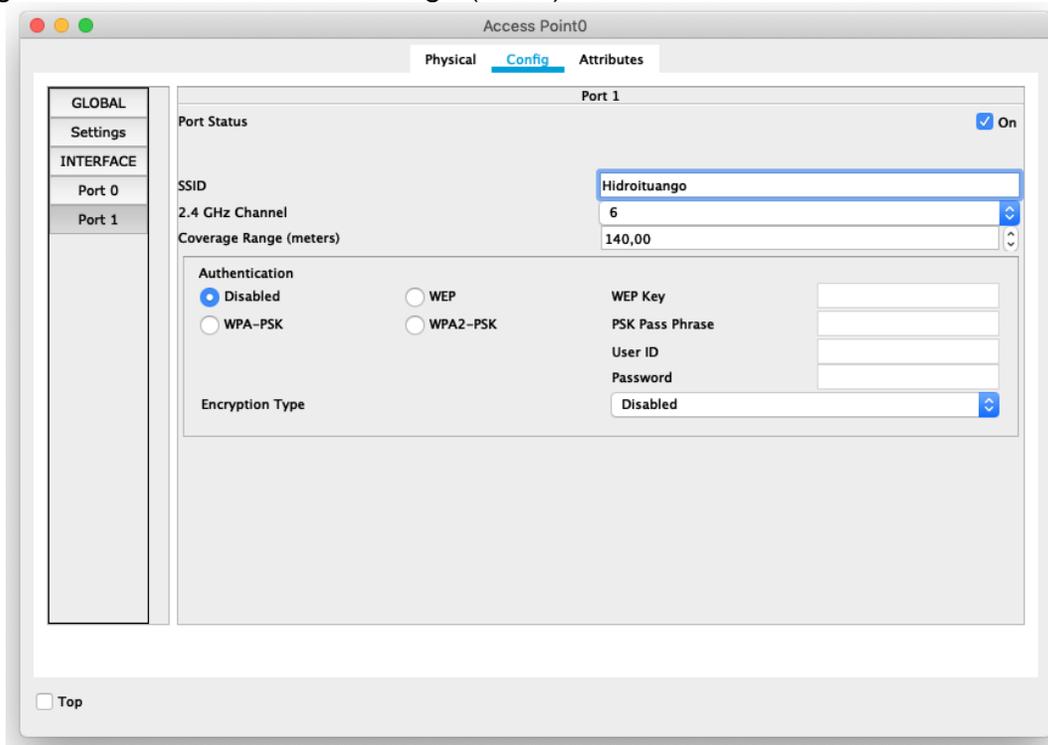
**Ilustración 15 Esquema general Cisco Packet Tracer**

Para esta simulación se usará un Access Point que va cumplir la labor de conectar todo el sistema de sensores inalámbricamente, junto a un servidor DHCP que se encargara de asignar las IP's dinámicas a cada uno de los sensores y de los dispositivos necesario para visualizar la conexión del sistema.



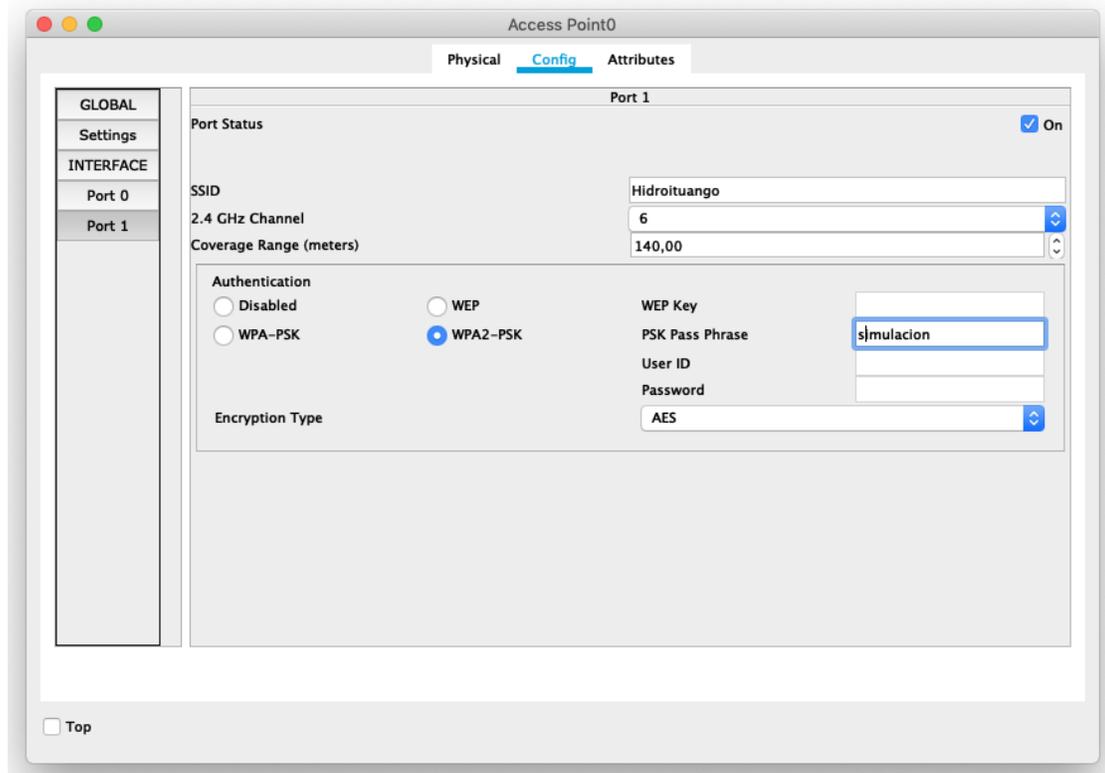
**Ilustración 16 Conexión Access Point y Servidor DHCP**

Primero se configurará el Access Point, ingresando en el puerto 1 (Port 1) se le asignará el nombre de Hidroituango (SSID).



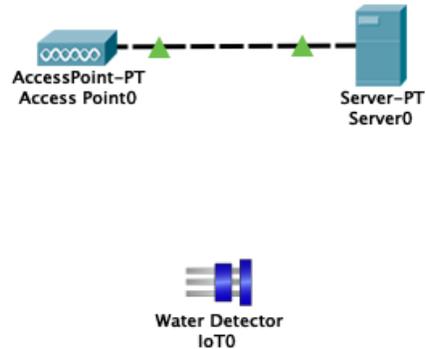
**Ilustración 17 Configuración Access Point**

A continuación, se le configura una contraseña encripta de protocolo WPA2-PSK para así proteger la integridad de la conexión del sistema, en este caso se le asigna la clave de simulación.



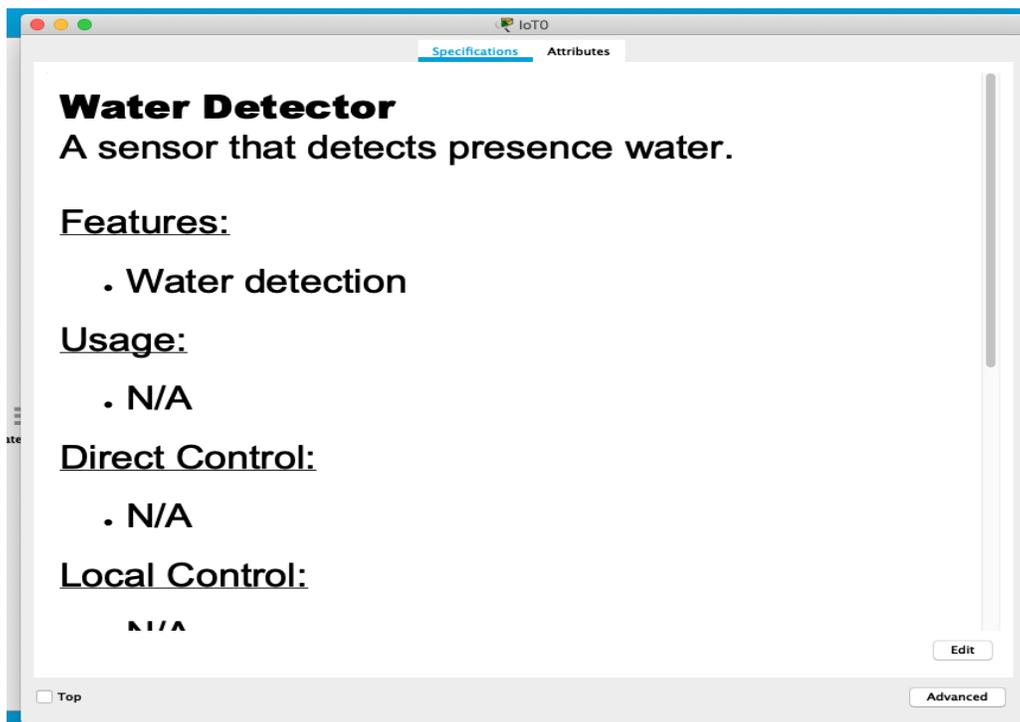
**Ilustración 18 Configuración Access Point**

El sensor que se utilizara en este caso en el Water Detector que simulara el sensor de detección de agua planteado (Smarty River).



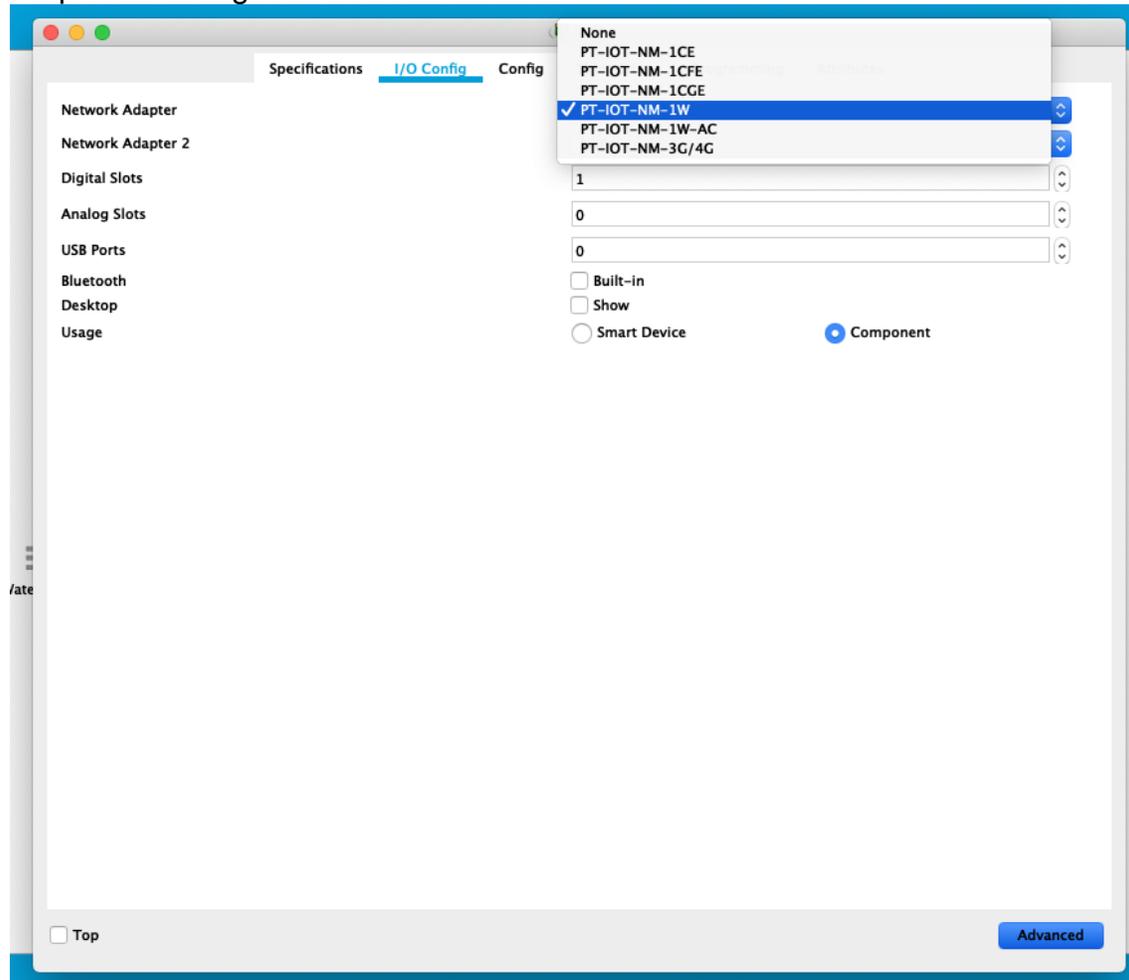
**Ilustración 19 Water Detector**

Dentro de la configuración del Water Detector, en la configuración avanzada (Advanced).



**Ilustración 20 Configuración Access Point**

Para este caso se le asigna un adaptador de red (Network Adapter) PT-IOT-NM-1W que se encargara de la conexión in alámbrica del sensor.



**Ilustración 21 Configuración de adaptador Access Point**

En configuración del Wireless0 se le asigna el mismo nombre que se utilizó anteriormente en el Access Point para que así se pueda conectar inalámbricamente, en este caso Hidroitungo (SSID) con su respectiva contraseña simulación (WPA2-PSK).

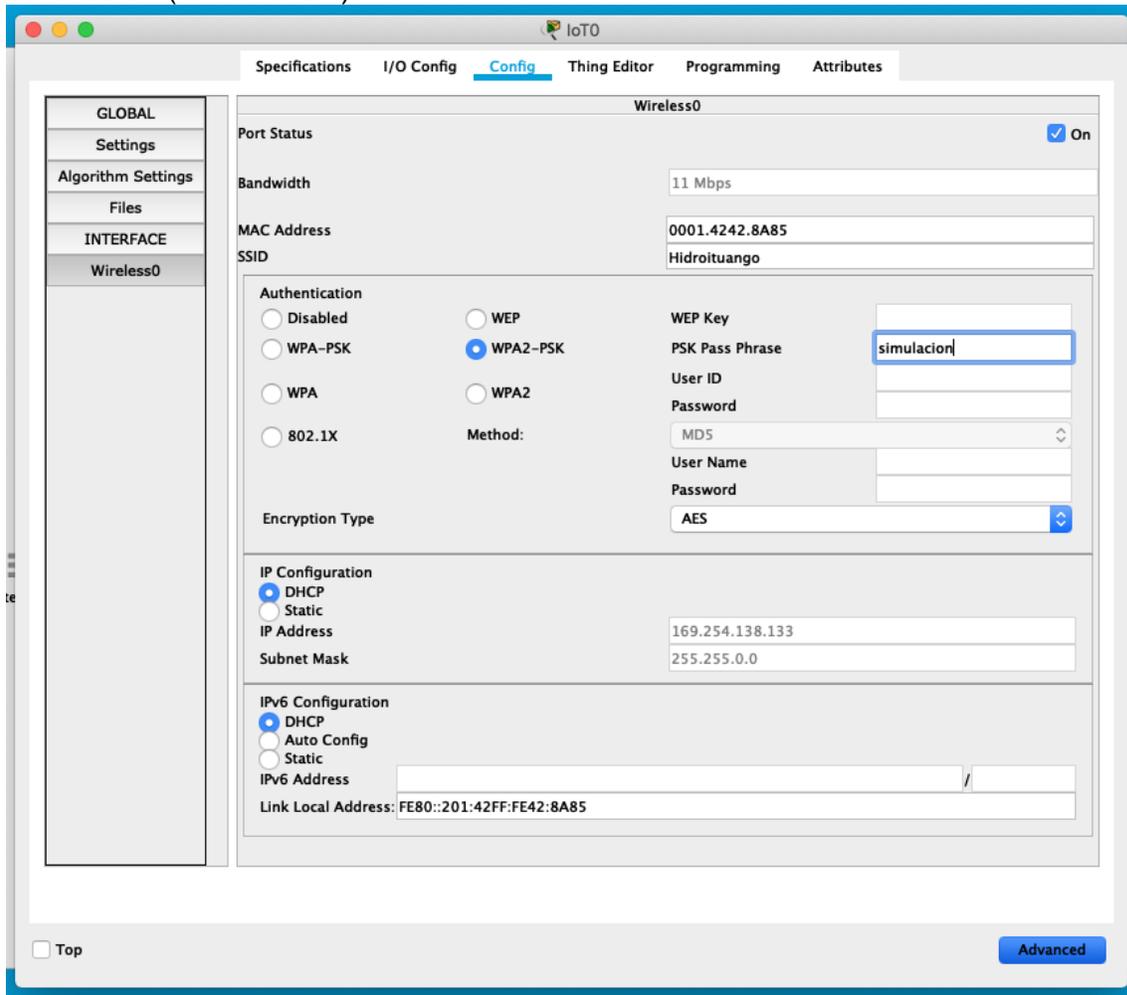


Ilustración 22 Configuración del Access Point

Se comprueba que cuando se conecta automáticamente se le asigna la dirección dinámica para este caso el Sensor 2 con la IP 192.168.0.2

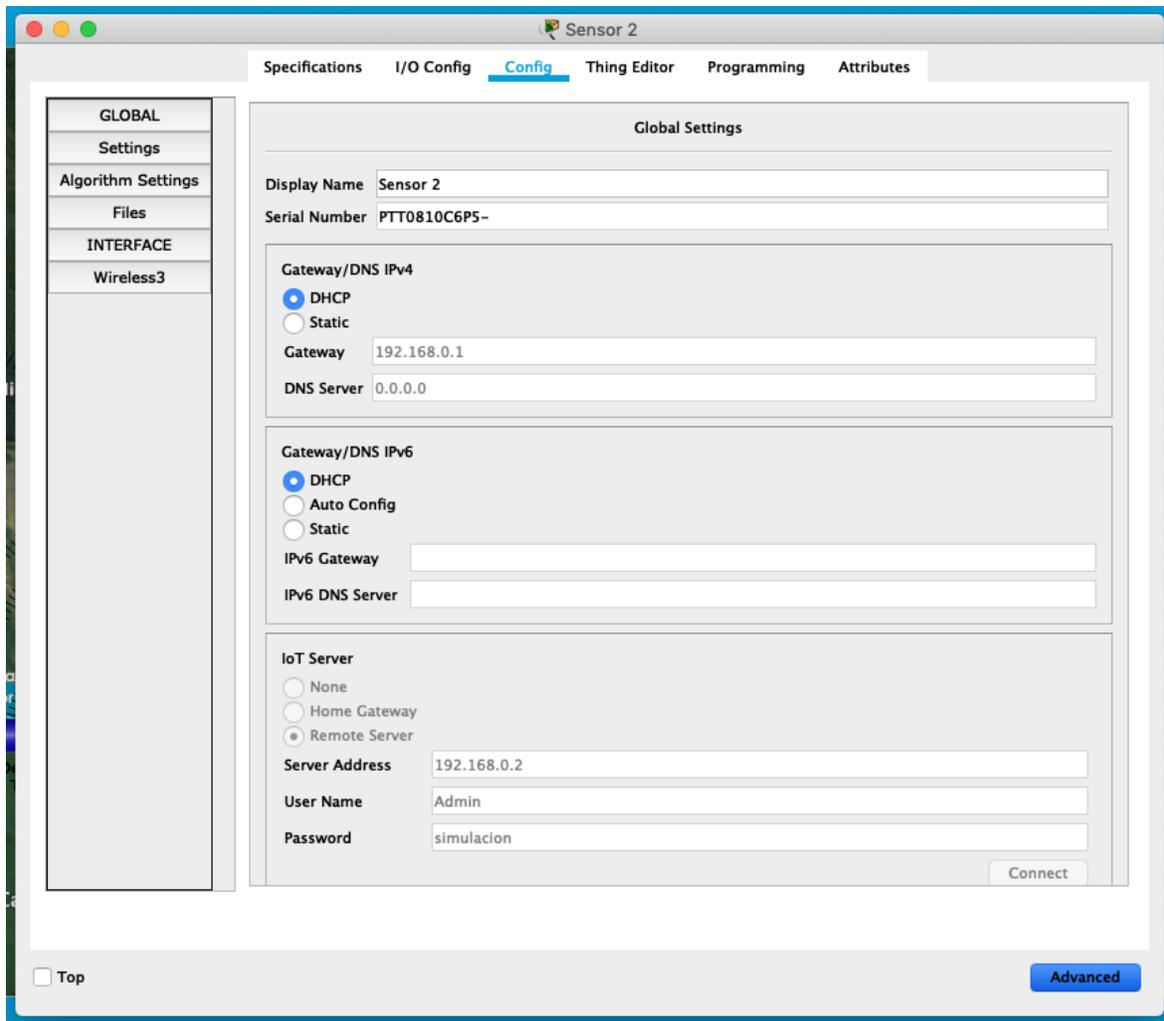
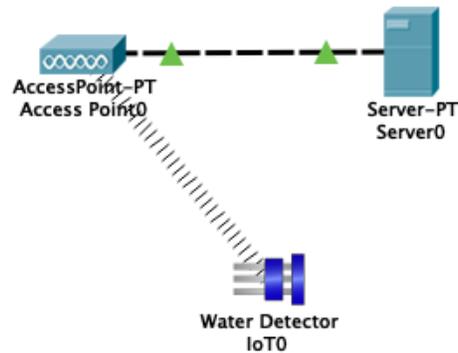


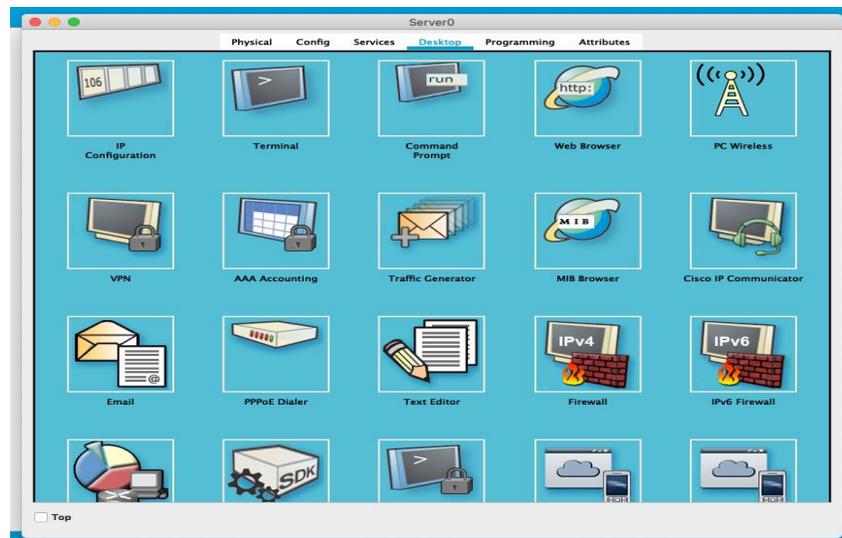
Ilustración 23 Configuración de puerto Access Point

Se corrobora que el sensor se conectó exitosamente con el Access Point, esta configuración se realiza con todos los sensores necesarios para la simulación del sistema planteado.



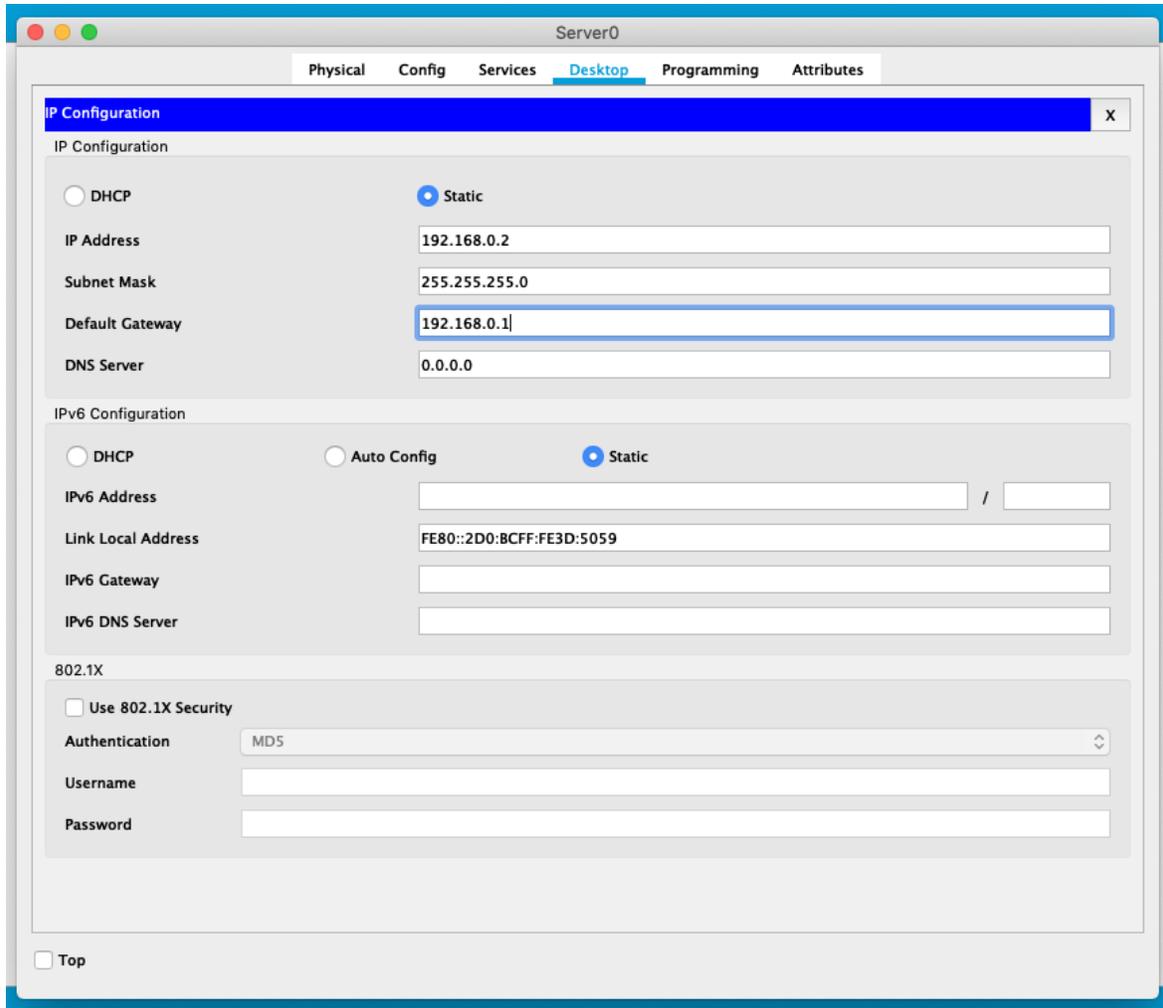
**Ilustración 24 Red Inicial prueba**

Se ingresa al servidor, en el escritorio se le asignará la IP para toda la red de simulación, que cumplirá la labor de asignar dinámicamente los las IP's de la red en IP configuración.



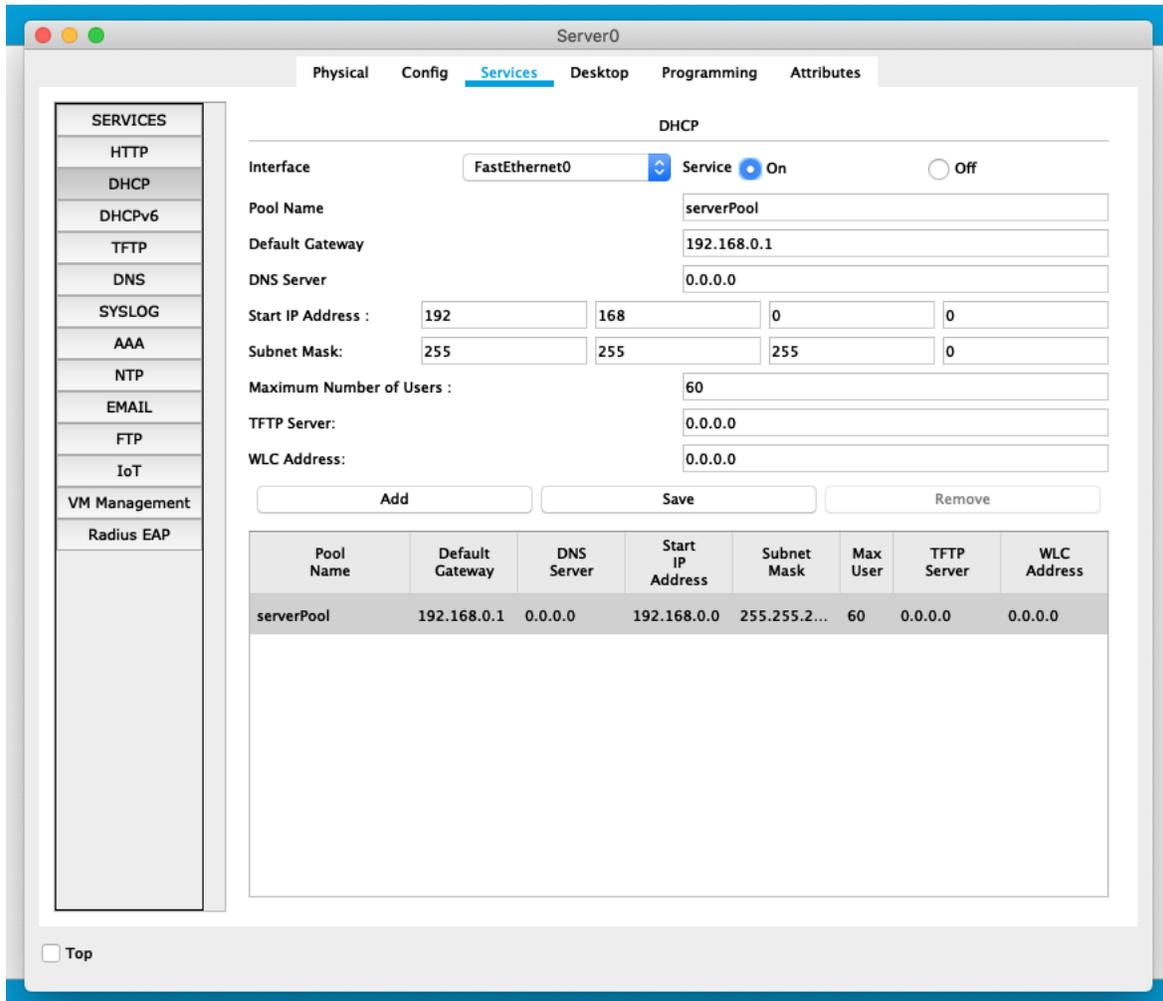
**Ilustración 25 Interface Servidor**

Al servidor se le asigna la IP 192.168.0.2 con una máscara de Subnet 255.255.255.0 y un Default Gateway 192.168.0.1 y se guardan los cambios.



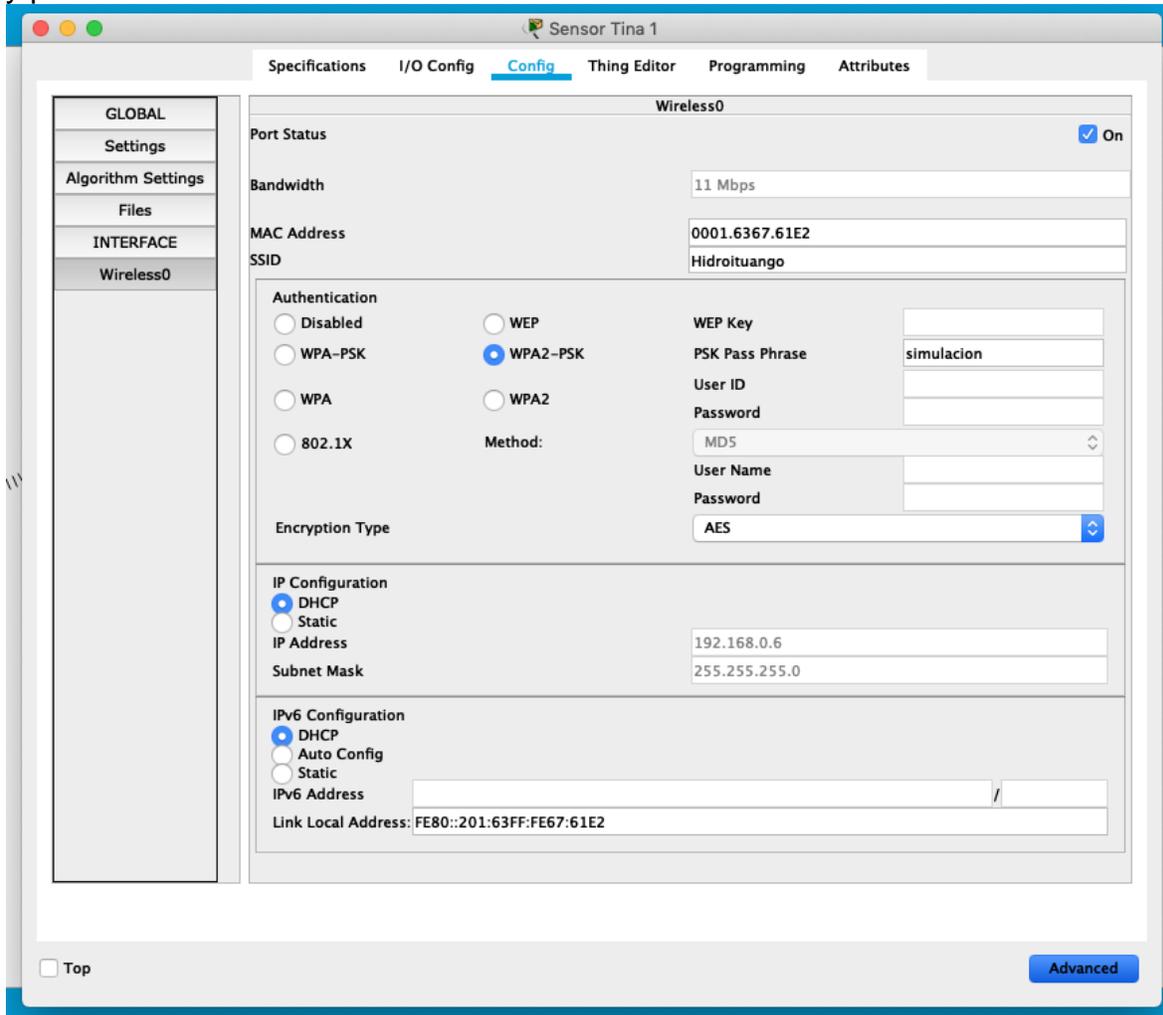
**Ilustración 26 Configuración de la dirección del servidor.**

En la pestaña de servicios se configura el DHCP para que el servidor asigne dinámicamente las IP's de toda la red de simulación, se le asigna el Default Gateway 192.168.0.1 con un máximo de 60 usuarios, se guarda la configuración y se enciende el servicio.



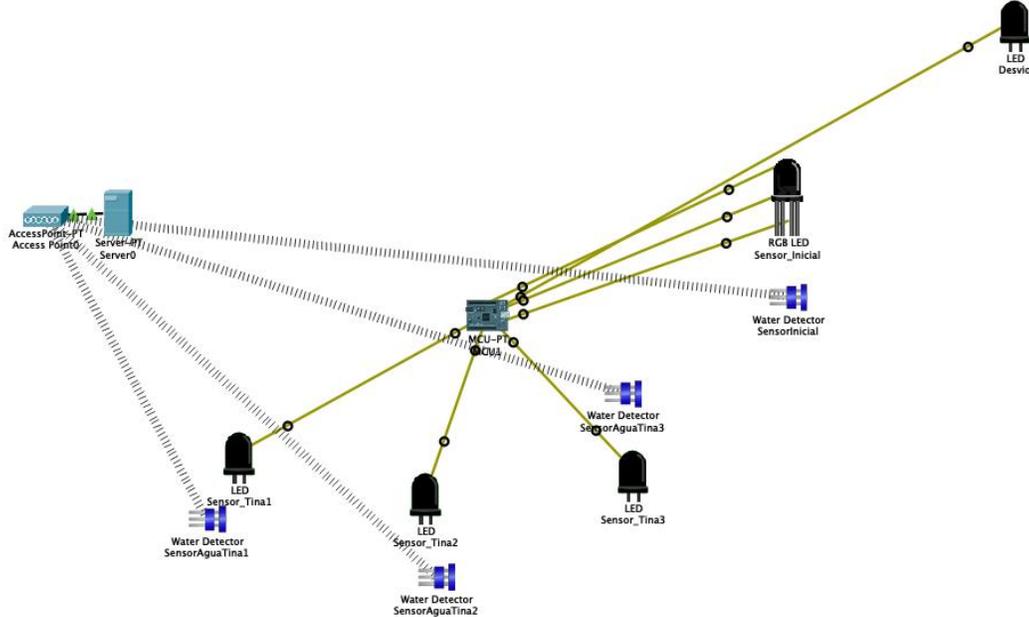
**Ilustración 27 Configuración DHCP servidor**

Para este caso se evidencia que el servidor está asignado las IPS automáticamente y para este sensor de la tina 1 cuenta con una IP 192.168.0.6



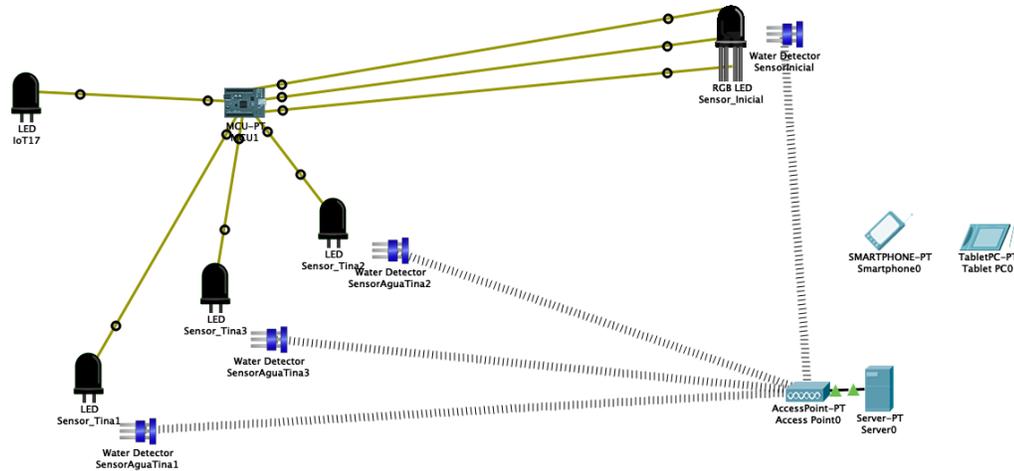
**Ilustración 28 Asignación automática de la dirección Sensor Tina 1**

El esquema en proceso de la simulación comprobando que todos los sensores están conectados a la misma red.



**Ilustración 29 Esquema general conectado a red**

Para el sistema se utiliza una Tablet y un Smartphone para comprobar la conexión de internet de todos los sensores y así poder monitorear desde cualquier lugar el estado de todos los sensores de la red.



**Ilustración 30 Esquema General Tablet SmartPhone**

Para el caso de la Tablet se configura el DHCP para la conexión con el nombre ya asignado anteriormente Hidroituango (SSID) con su respectiva clave simulación (WPA2-PSK).

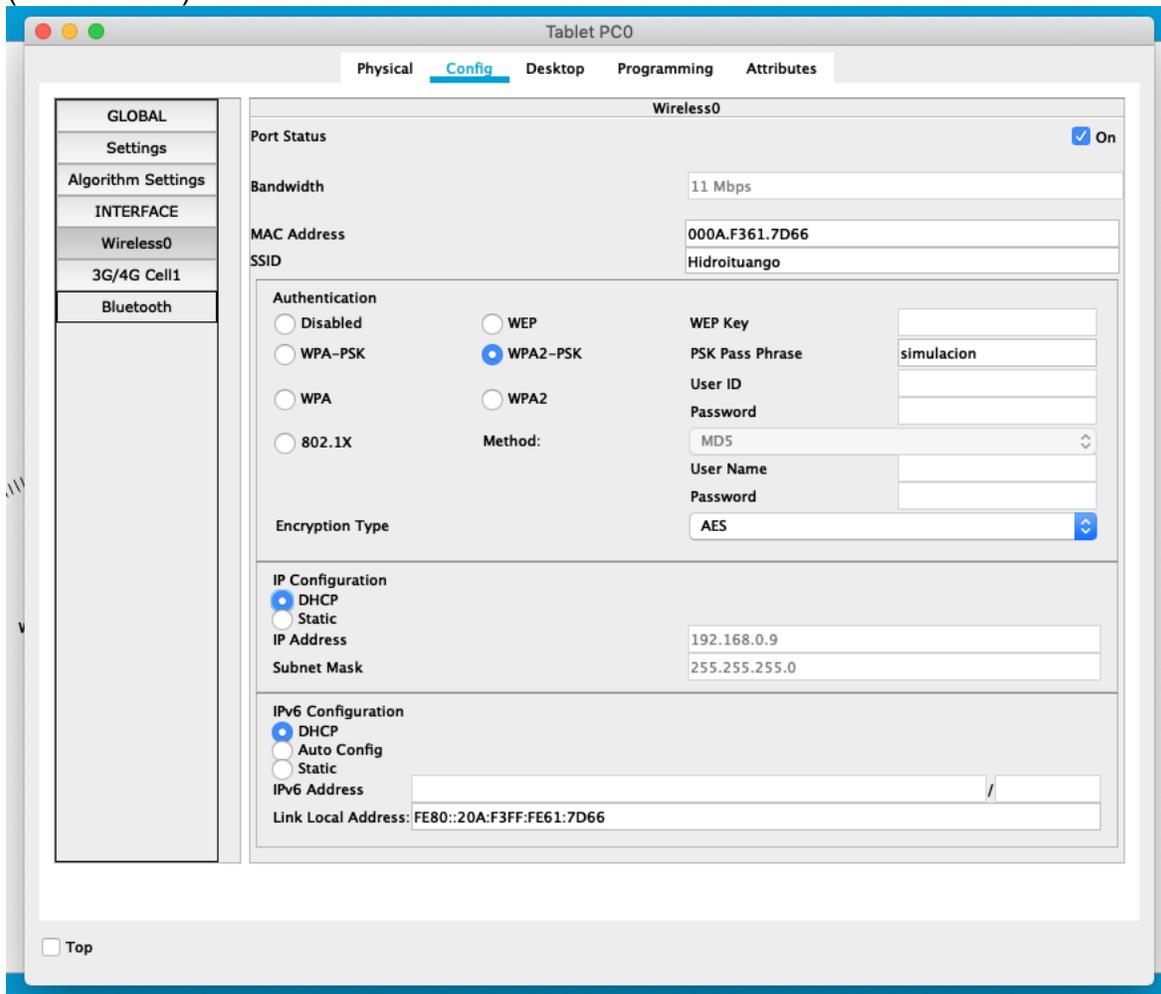


Ilustración 31 Configuración Tablet

Para el caso del Smartphone se realiza el mismo procedimiento del paso 9.

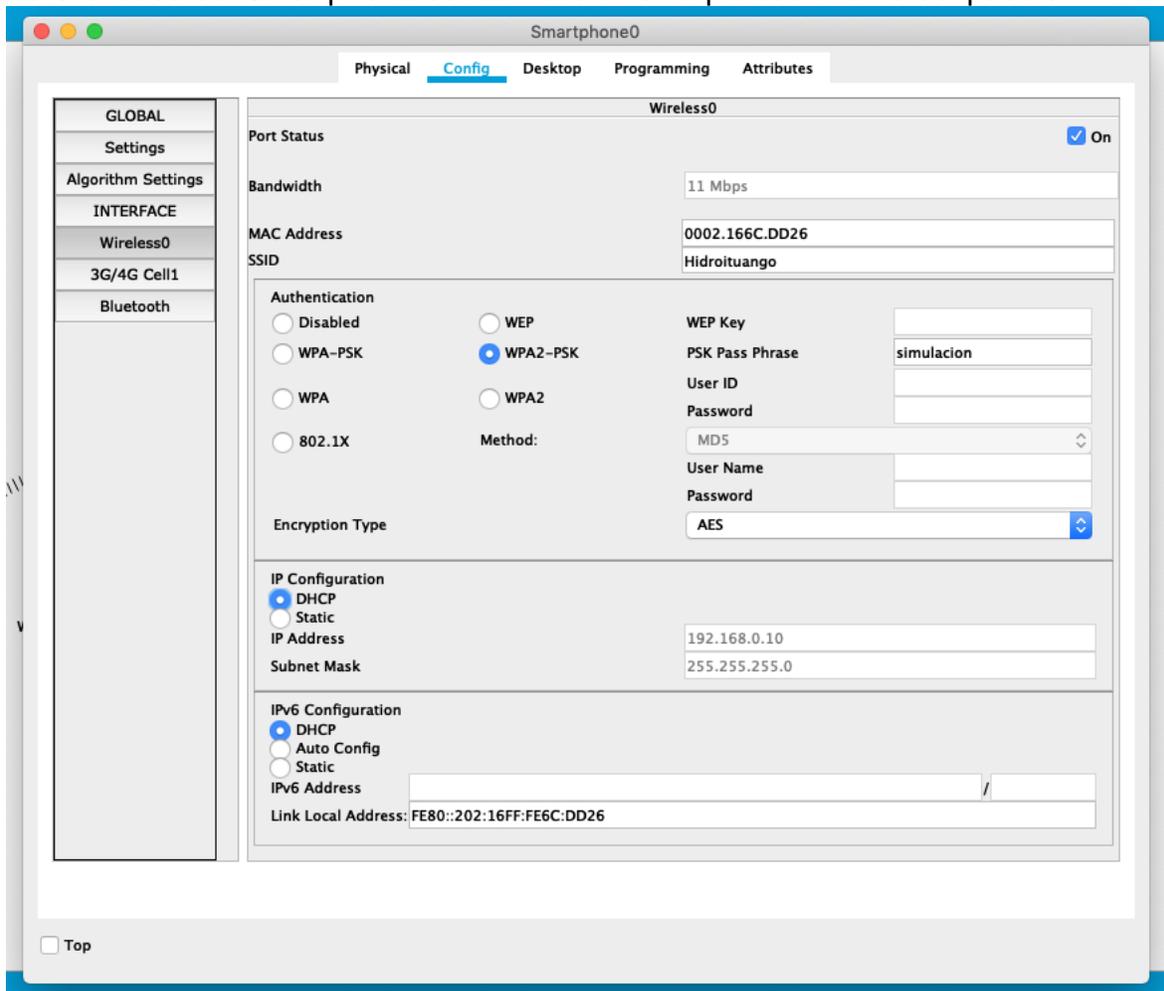
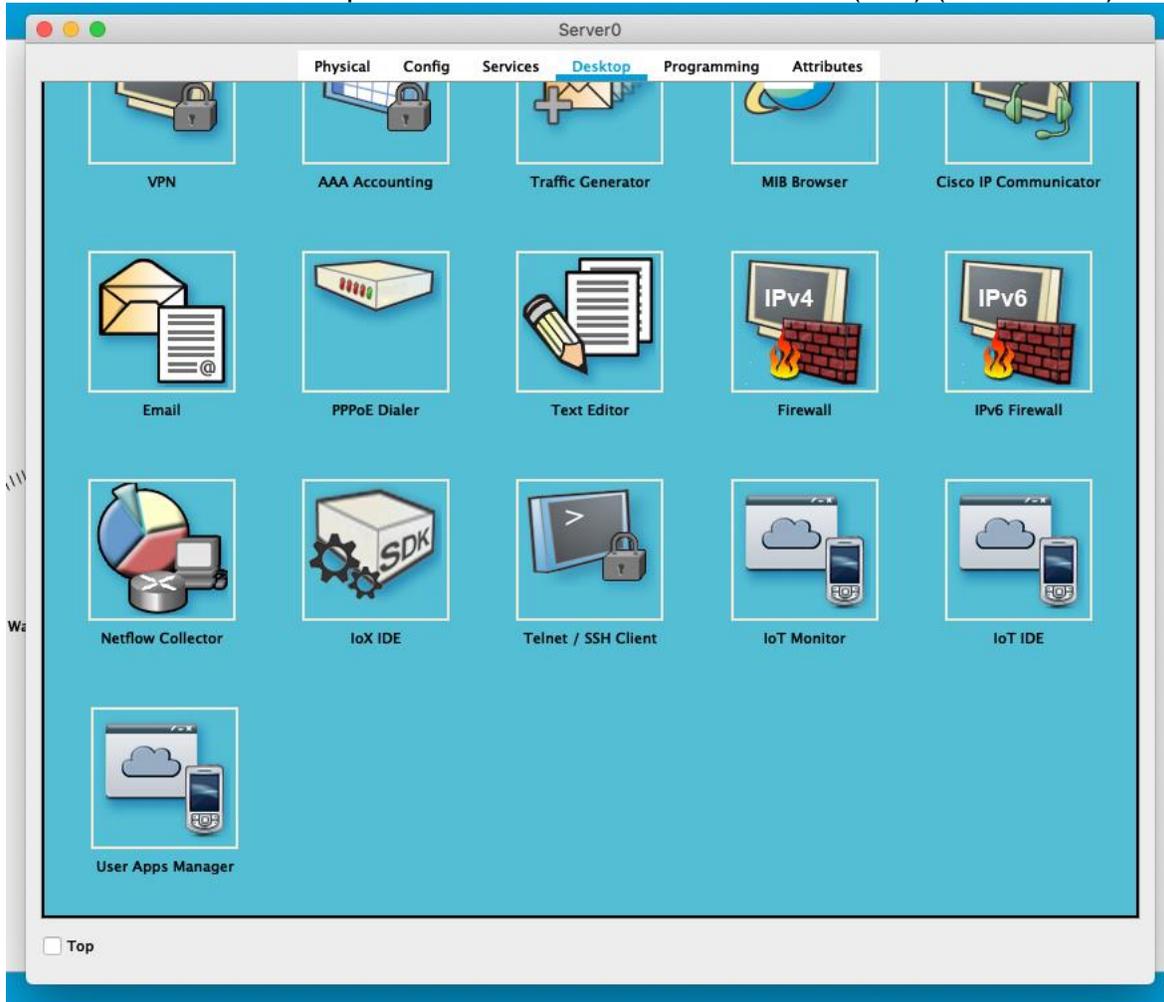


Ilustración 32 Configuración Smartphone

El servidor cuenta con una aplicación para monitorear todos los sensores que se encuentran conectados por medio del Internet de las cosas (IOT) (IoT Monitor)



**Ilustración 33 . Escritorio Servidor**

Desde alguno de los dispositivos conectados mediante la red de IOT se ingresa al URL <http://192.168.0.2> que corresponde a la dirección IP del servidor y se registra un usuario para esta red se crea un nombre de usuario Admin y una contraseña simulación.

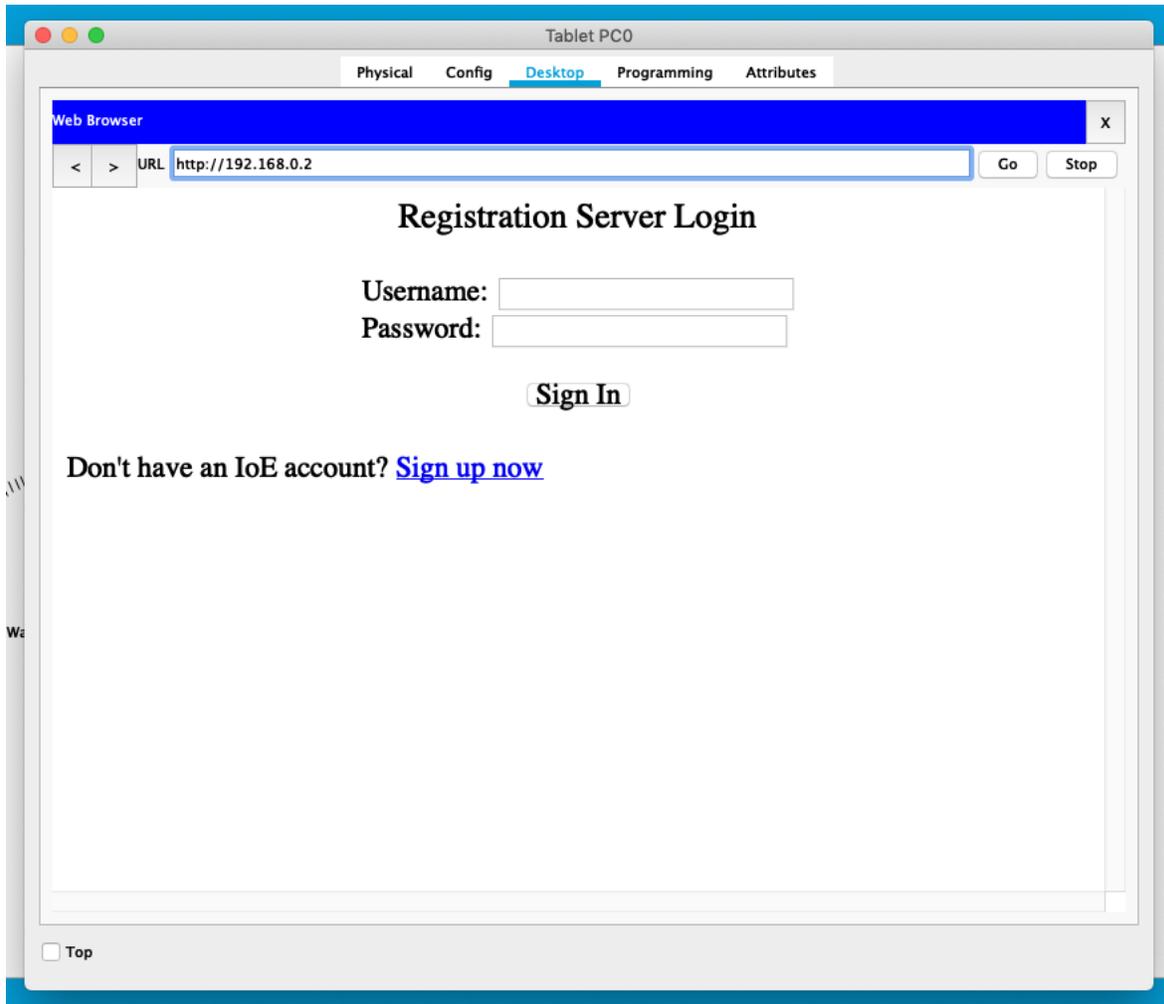
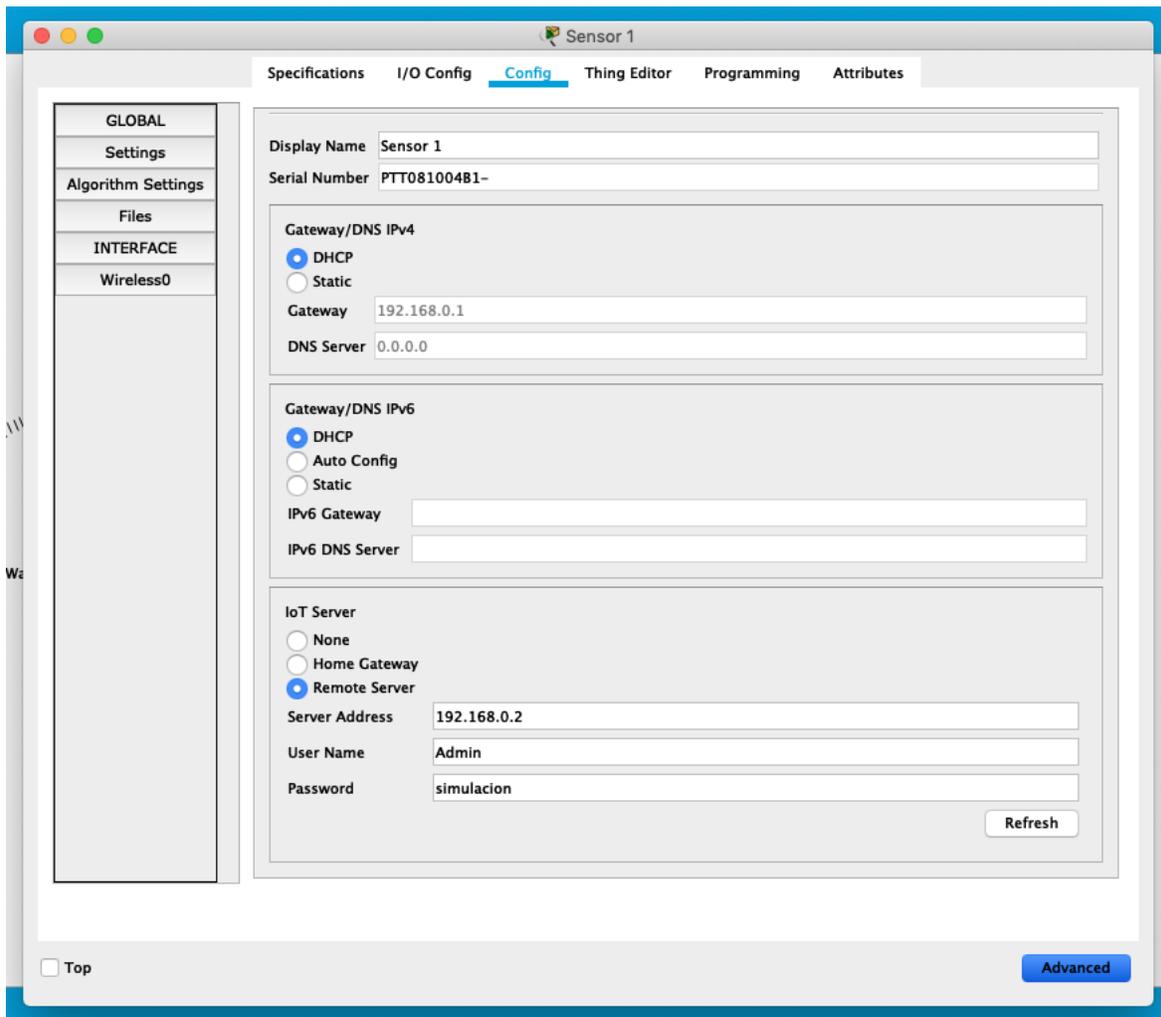


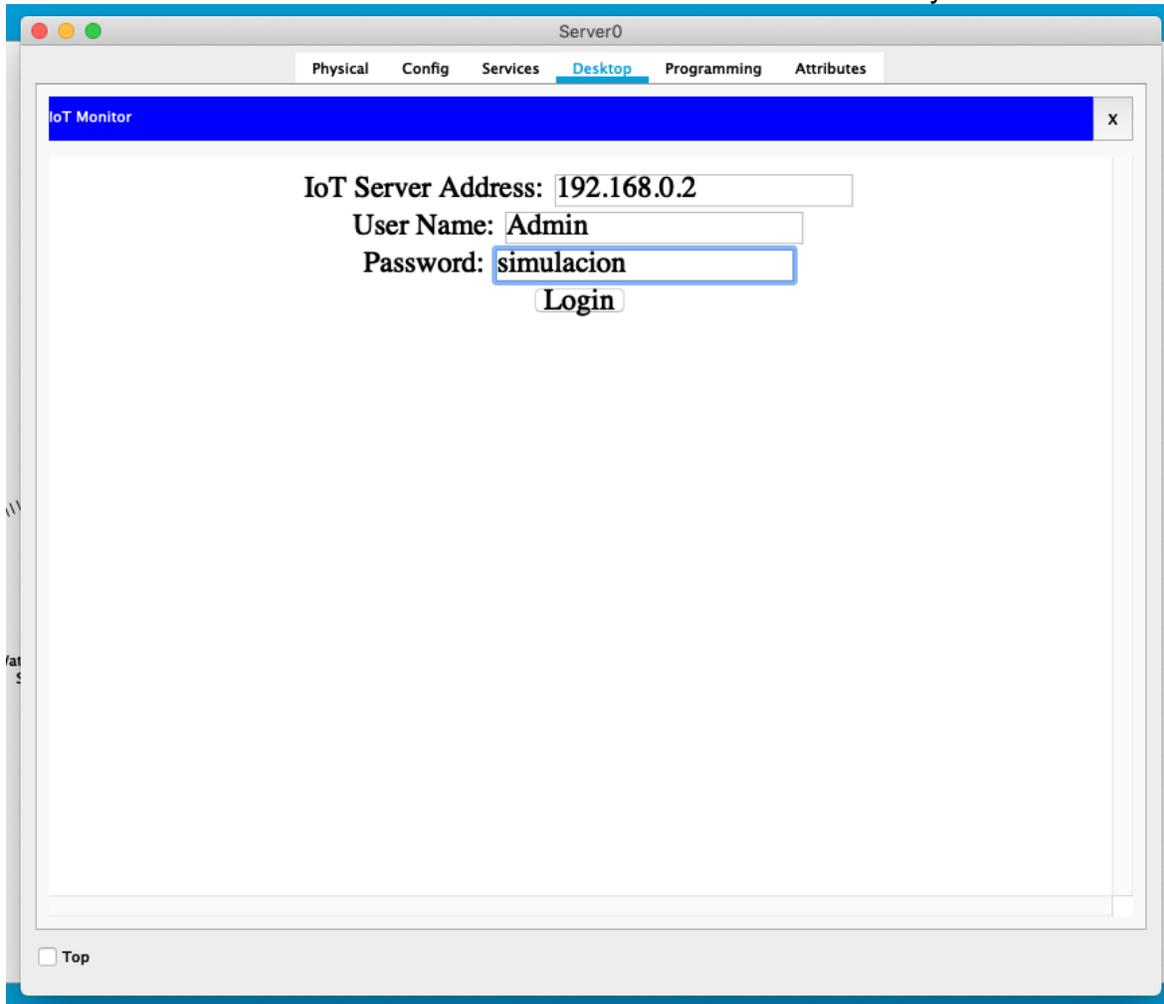
Ilustración 34 Registro Usuario IoT

Se ingresa nuevamente a la configuración de los sensores y se configura el servidor remoto para el monitoreo de la red de sensores agregándole la dirección del servidor 192.168.0.2 el nombre de usuario creado en el paso anterior (Paso número 10) y se conecta, hasta esperar que se conecte exitosamente. Este paso se debe realizar con cada uno de los sensores de la red simulada.



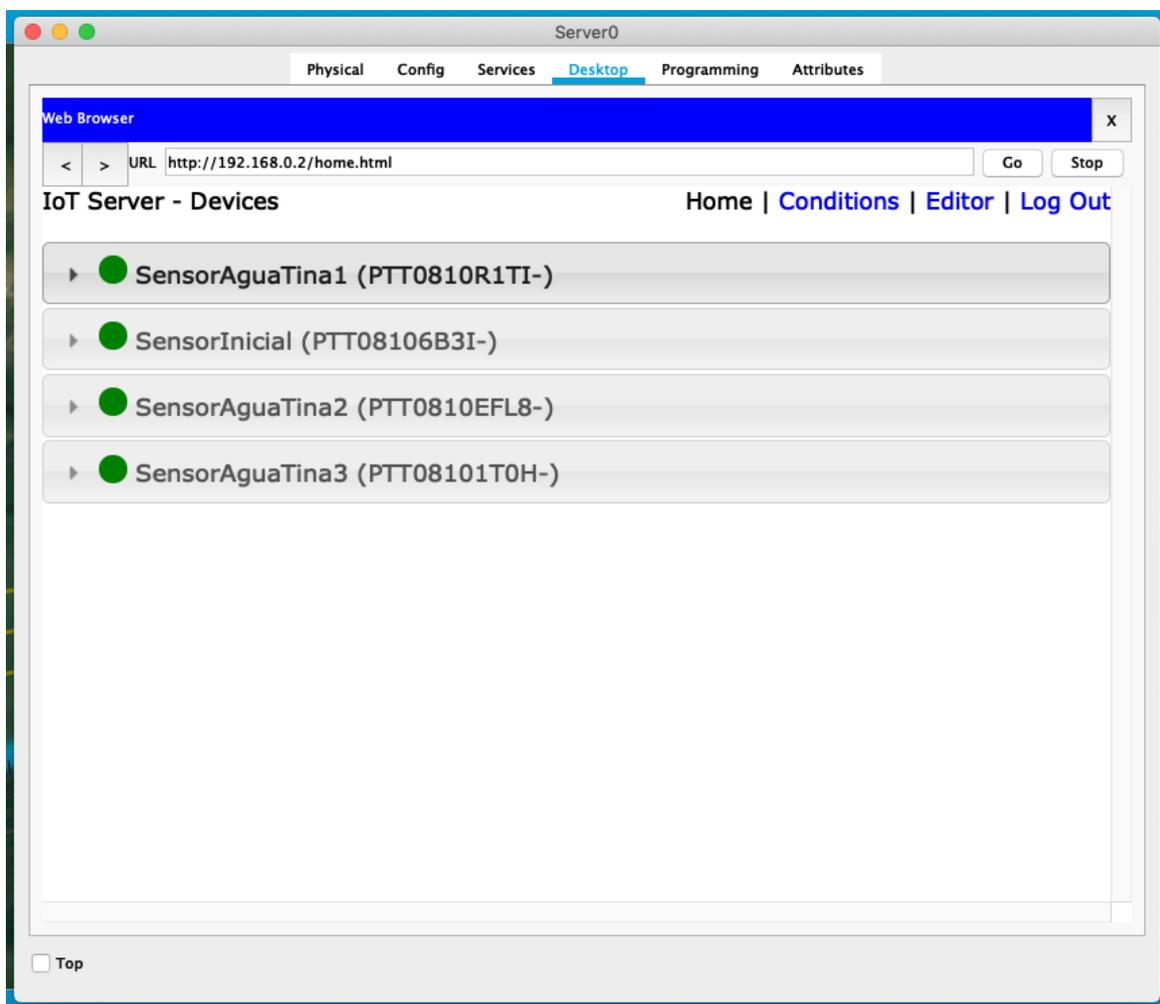
**Ilustración 35 Configuración IoT server Sensor 1**

Desde el escritorio del servidor se accede a la aplicación IoT monitor para visualizar la conexión y monitoreo de todos los sensores. Se ingresa con la dirección IoT del Servidor 192.168.0.2 el nombre de usuario creado anteriormente y la contraseña.



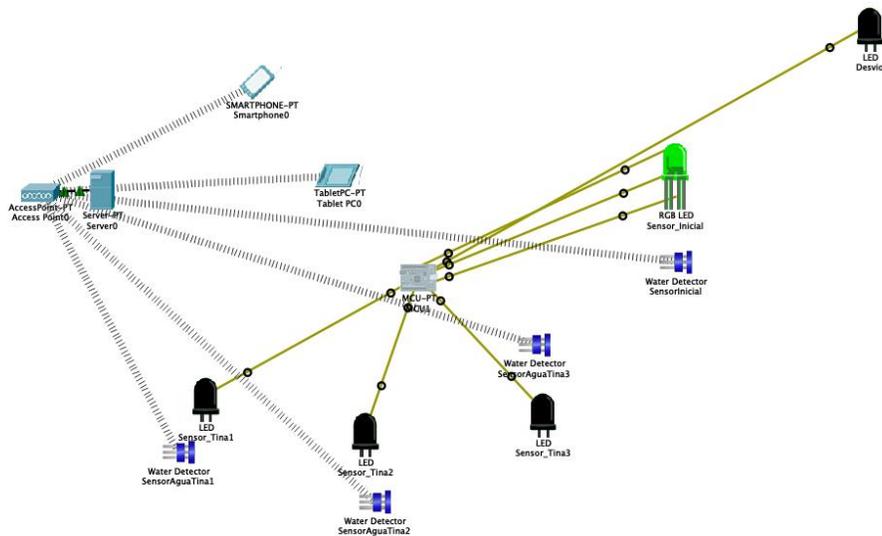
**Ilustración 36 Ingreso IoT servidor**

Desde la interface se puede monitorear y revisar la conexión de todos los sensores y verificar en qué estado se encuentra cada uno de ellos.



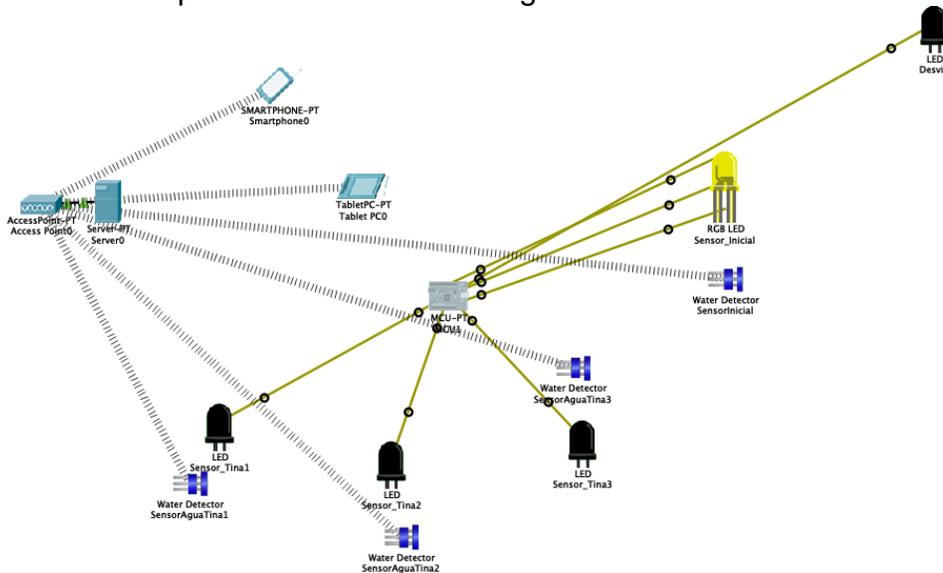
**Ilustración 37 Interface conexión sensores**

Se programa el Arduino con java script para validar el nivel del agua y sus respectivos sensores para la activación de las tinas de almacenamiento de agua y de ser necesario el canal de desvío.



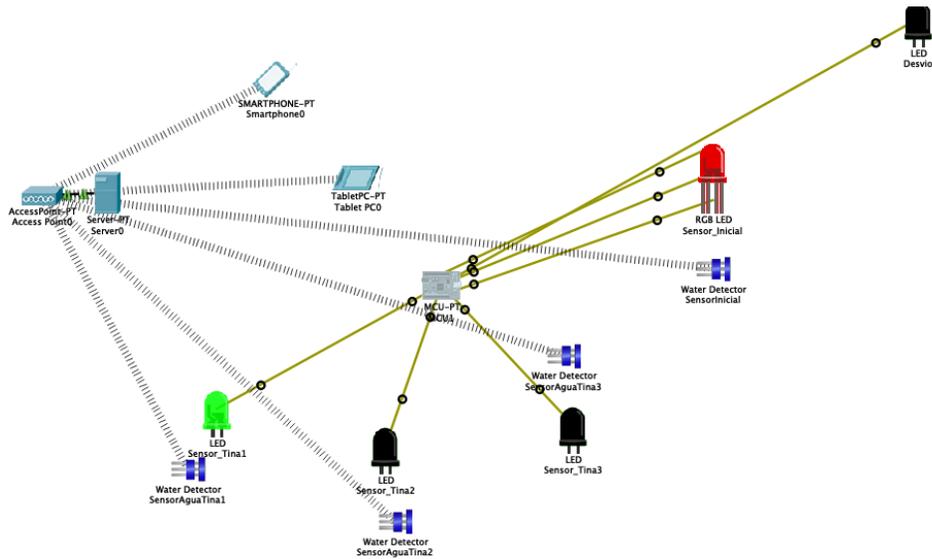
**Ilustración 38 Escenario 1 Detección nivel bajo de agua**

Cuando el sensor detecta el nivel medio de agua se activa el led en color amarillo para prevenir ante posibles crecientes de agua en el rio.



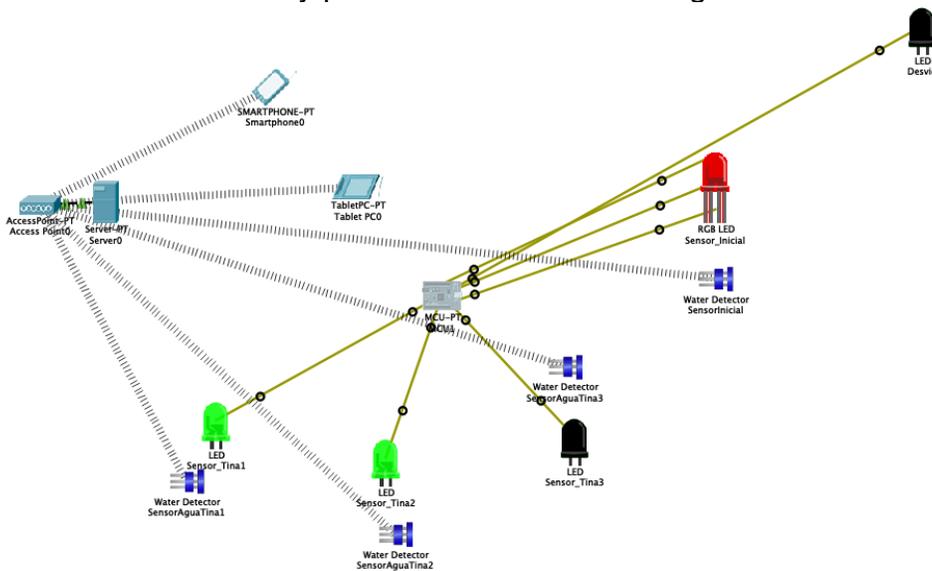
**Ilustración 39 Escenario 2 Detección nivel Medio de agua**

El sensor detecta el nivel máximo de agua que puede alcázar el led se activa de color rojo y procede a activar el sensor y el llenado de la tina número uno.



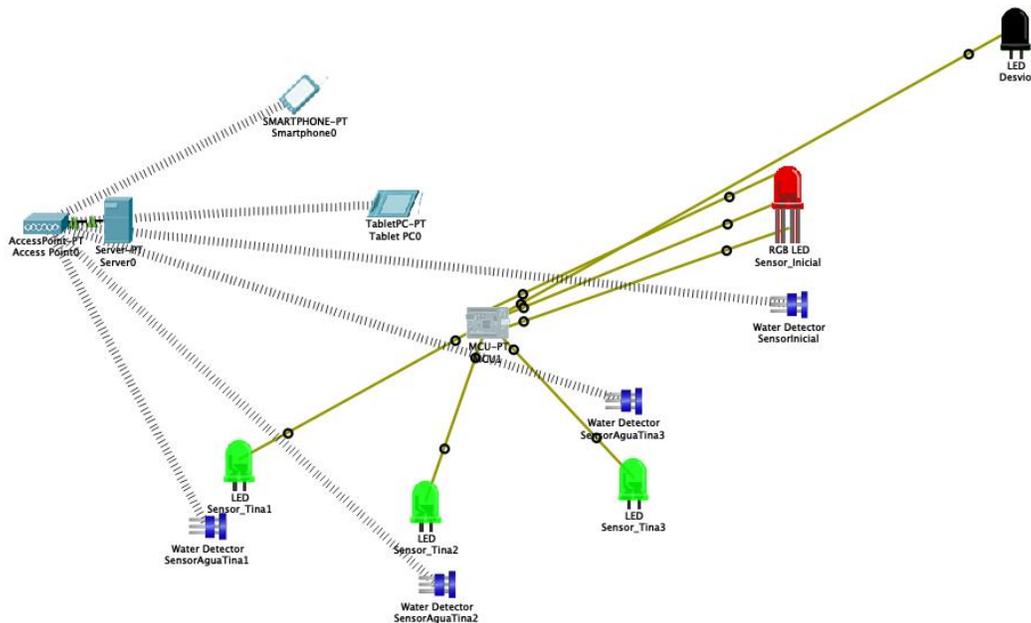
**Ilustración 40 Escenario 3 Detección Nivel Máximo de agua**

Si el nivel del agua de la tina número 1 detecta el máximo de llenado se activa el sensor número 2 de la tina y procede a su llenado de agua.



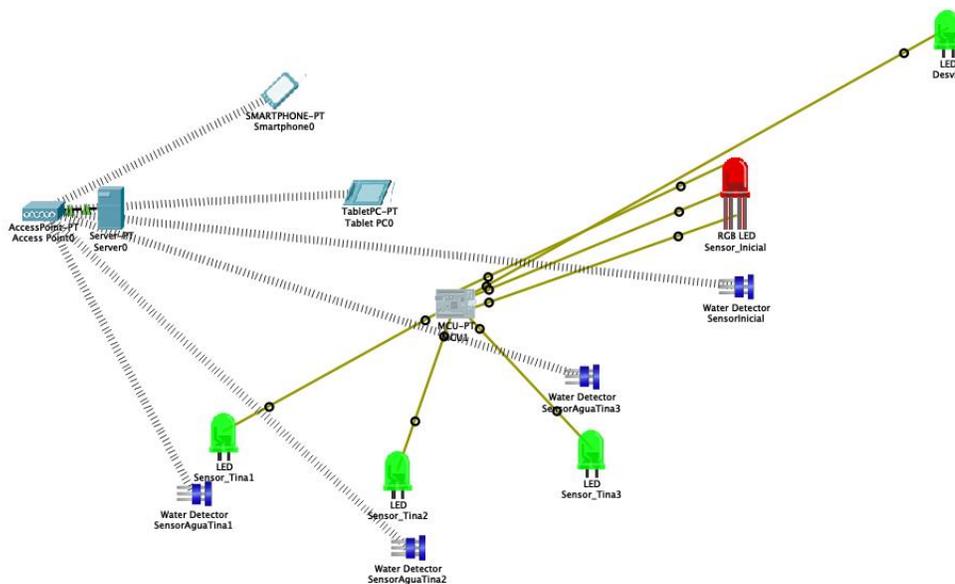
**Ilustración 41 . Activación de la tina número dos**

Cuando la tina número uno y la tina numero dos completan totalmente su llenado de agua el sensor de la tina número tres se activa para así proceder con el llenado de la tina número tres.



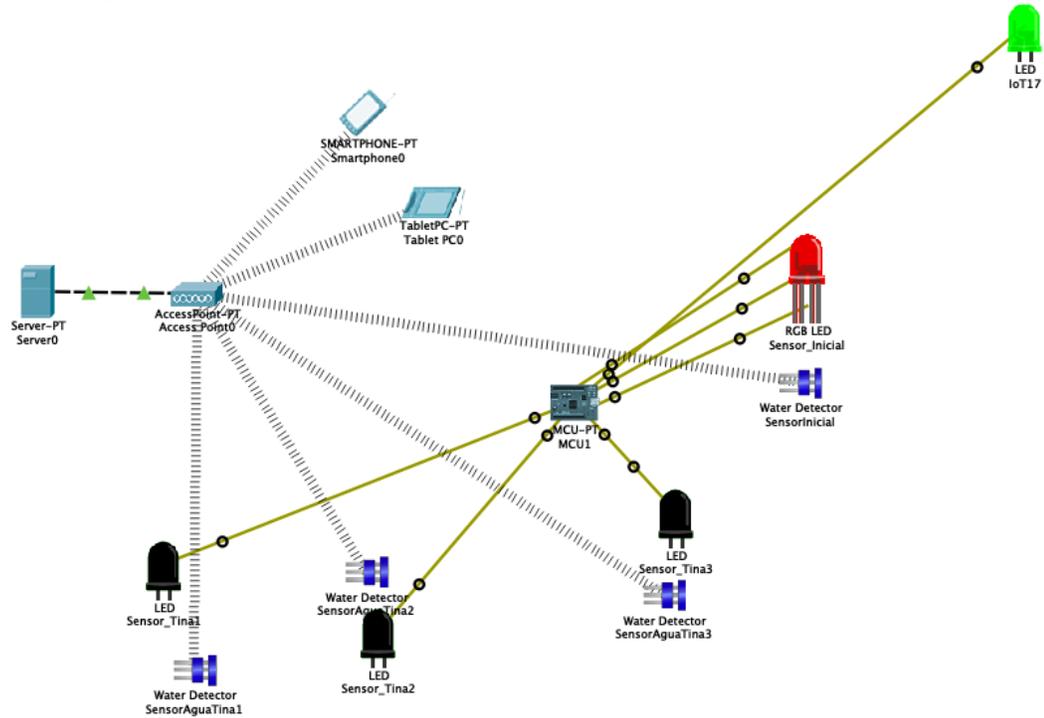
**Ilustración 42 Activación de la tina número tres**

Al completarse el ciclo de llenado de todas las tinas automáticamente se activa el canal de desvío para que así el caudal del río fluya con mayor normalidad.



**Ilustración 43 Activación del canal de desvío**

Por ultimo al tener activo el desvío del río las tres tinajas se cierran con el fin de no desbordar el agua recogida.



**Ilustración 44 Escenario Final**

---

## 11. CONCLUSIONES

El Canal de Panamá es uno de los corredores marítimos más significativos del planeta, por ende, la imagen y la prestación de servicios es importante para lograr fidelizar y capturar nuevos clientes en un mercado creciente y de alto flujo, gracias a la ampliación no solo del Canal sino también de los negocios a nivel mundial.

Realizar la visita técnica al Canal de Panamá permitió el levantamiento de información sobre las metodologías y procesos que se utilizan en las esclusas del Canal de Panamá, la información brindada por los ingenieros encargados afirmó tanto la formulación del problema como el proceso que se maneja para la activación de dichas esclusas.

Se identificó un modelo de simulación para controlar el nivel de agua del río Cauca por medio de IoT, y así llegar a prevenir emergencias que se presentaron en un pasado como las que se podrán presentar en un futuro, adicional de resguardar las aguas para con ella generar energía por medio de la hidroeléctrica.

Se establecieron tres escenarios posibles, cada uno con sus respectivos parámetros, el cual establecieron los tres niveles para el control del agua, lo que sirvió para permitir un análisis lo más cercano posible a la realidad que se encuentra en la Hidroeléctrica de Hidroituango.

Tener herramientas de simulación para analizar escenarios, es de gran utilidad, ya que permite generar posibles escenarios para conocer resultados en distintos aspectos, los cual ayudan a hacer un análisis de determinada problemática o necesidad y así apoyados en las simulaciones, proceder a la toma de decisiones.

---

## 12. REFERENCIAS

- Hidroeléctrica Hituango,2017.**"Información General"[En línea].<https://www.hidroituango.com.co/hidroituango/información-general/26>
- Elmundo.com,2018.**"Alerta máxima en Hidroituango por complicaciones en la represa".[En línea].  
<http://www.elmundo.com/noticia/Alerta-maxima-en-Hidroituango-por-complicaciones-en-la-represa/371151>
- El espectador,2018**"¿Por qué empeoró el riesgo en Hidroituango?[En línea].  
<https://www.elespectador.com/noticias/nacional/por-que-empeoro-el-riesgo-en-hidroituango-video-792218>
- Hidroeléctrica Hidroituango,2017**"Quiénes Somos".[En línea]<https://www.hidroituango.com.co/hidroituango>.
- Esclusa definición.2018** [en línea] <https://www.definiciones-de.com/Definición/de/esclusa.php>
- Escuela de Ingeniería de Antioquia,2018**"Esclusas".[En línea]<http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>
- Universidad Nacional de Colombia.**"FLUJO A TRAVÉS DE COMPUERTAS"[En línea].<http://bdigital.unal.edu.co/12697/49/3353962.2005.Parte%209.pdf>
- Escuela de Ingeniería de Antioquia,2018**"Esclusas".[En línea]<http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>
- Premisa.** "Compuertas taintor".[En línea][http://www.proemisa.com/archivos\\_subidos/fitxa\\_comp\\_taintor\\_96\\_02.pdf](http://www.proemisa.com/archivos_subidos/fitxa_comp_taintor_96_02.pdf)
- Quiminet,2013.**"Compuertas Flap".[En línea].<https://www.quiminet.com/articulos/descubra-como-funciona-una-compuerta-o-atagui-deslizante-3410415.html>
- Esclusa definición** [en línea] [Citado el: Octubre del 2018]  
<http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/compuertas/compuertas.html>
- ENSING S.L. 2018.** SENSING. [En línea] 2018. [http://www.sensores-de-medida.es/sensing\\_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES\\_35/Sensoresde-distancia\\_36/Sensores-de-distancia-1%C3%A1ser\\_56/](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensoresde-distancia_36/Sensores-de-distancia-1%C3%A1ser_56/).
- LEIJA, LORENZO. 2009.** MÉTODOS DE PROCESAMIENTO AVANZADO E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN SISTEMAS SENSORES Y BIOSENSORES. Mexico: Reverté S.A, 2009. ISBN 978-607-7815-01-3.pág 11-12
- SENSING S.L. 2018.** SENSING. [En línea] 2018. [Citado el: octubre de 2018.]  
[http://www.sensores-de-medida.es/sensing\\_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES\\_35/Sensoresde-distancia\\_36/Sensores-de-distancia-1%C3%A1ser\\_56/](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensoresde-distancia_36/Sensores-de-distancia-1%C3%A1ser_56/).
- Represa. [En línea] 2018. [Citado el:Octubre de 2018.]<https://definicion.de/represa/>
- TARIFA, ENRIQUE EDUARDO.** Teoría de Modelos y Simulación. [En línea]  
[http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051\\_TecnicasIISimulacion.pdf](http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051_TecnicasIISimulacion.pdf).
- Carmen Fullana Belda, Elena Urquía Grande .**LOS MODELOS DE SIMULACIÓN: UNA HERRAMIENTA MULTIDISCIPLINAR DE INVESTIGACIÓN.[En línea].  
[http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA32/Carmen\\_Fullana\\_Belda\\_y\\_Elena\\_Urqu%C3%ADa\\_Granda.pdf](http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA32/Carmen_Fullana_Belda_y_Elena_Urqu%C3%ADa_Granda.pdf)
- Arnold, M.** "Teoría de Sistemas, Nuevos Paradigmas: Enfoque de Niklas Luhmann". Revista Paraguaya de Sociología. Año 26. N°75. Mayo-Agosto. 1989. Páginas 51-72
- PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF NAVIGATION CONGRESSES. 1992.**CANALES DE ENTRADA - DISEÑO DE CANALES. [En línea] 1992.  
Proceso de desarrollo de software, Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Universidad Politécnica de Valencia.
- Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014)** "Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity" July 22 - 24, 2014 Guayaquil, Ecuador.