



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y  
TELEMETRÍA PARA PRIMER EFECTO DEL  
PROCESO DE DESALACIÓN MED-LE**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

PRESENTA:

**LABASTIDA LARA PAULINA**



DIRECTOR DE TESIS: M.I JUVENTINO CUELLAR GONZALEZ

*Ciudad Universitaria, México D.F., 2014*



**JURADO ASIGNADO**

PRESIDENTE: M.I JESUS REYES GARCIA

SECRETARIO: M.I DAMIAN FEDERICO VARGAS SANDOVAL

VOCAL: M.I JUVENTINO CUELLAR GONZALEZ

1ER SUPLENTE: ING. MARGARITA BAUTISTA GONZALEZ

2DO SUPLENTE: M.I JUAN CARLOS CEDEÑO VAZQUEZ

Facultad de Ingeniería

Ciudad Universitaria, México Distrito Federal

**TUTOR DE TESIS:**

M.I. Juventino Cuellar González

---

FIRMA



## **Agradecimientos**

### **A mi madre**

Por caminar junto a mí a lo largo de este viaje dándome fortaleza, enseñándome grandes lecciones de vida y creyendo en mí siempre.

### **A mi padre**

Por darme las herramientas necesarias para desarrollarme y enseñarme que la responsabilidad es uno de los valores más importantes en la vida.

### **A mi hermana**

Por acompañarme y crecer junto a mí todos los días, enseñándome que cualquier meta se logra con dedicación y tenacidad, nuestra amistad es única.

### **A Alejandro**

Por recorrer este camino junto a mí, enseñarme que no debo darme por vencida y que siempre debemos ver hacia adelante.

### **A mis amigos y amigas**

Por todos los momentos y experiencias que hemos vivido, que más allá de ser amigos, se han vuelto mi familia.

### **A mi familia**

Por su apoyo incondicional.

### **A la Profesora Gloria Mata**

Por su dedicación y apoyo incondicional

### **Al grupo IIDEA**

Por la experiencia y oportunidad de crecimiento

### **A UNAM y Profesores**

Por brindarme la formación académica y profesional a lo largo de la carrera.

### **A Dios**



ÍNDICE.....	I
RESUMEN .....	II
1. Introducción	
1.1 Objetivo .....	1
1.2 Metodología de trabajo .....	1
1.3 Antecedentes .....	2
2. Tecnologías de desalación	
2.1 Concepto de desalación .....	4
2.2 Procesos de desalación .....	5
2.3 Desalación MED-LE.....	7
3. Sistema de Adquisición de datos del primer efecto de desaladora MED-LE	
3.1 Elección de variables a monitorear .....	9
3.2 Componentes de un sistema de adquisición de datos .....	10
3.3 Análisis y elección de tecnología de instrumentación .....	11
3.3.1 Fibra óptica como medio de instrumentación .....	12
3.3.2 Instrumentación basada en electrónica .....	16
3.3.3 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ) .....	21
3.4 Simulación en LABVIEW de la red de instrumentación .....	24
4. Telemetría	
4.1 Concepto de telemetría .....	31
4.2 Tecnologías para enlaces de Telemetría .....	31
4.2.1 Generalidades de un enlace por ondas electromagnéticas .....	31
4.2.2 Microondas .....	33
4.2.3 Fibra óptica .....	40
4.2.4 Enlace Satelital .....	41
4.3 Elección de la tecnología para el enlace .....	44
5. Conclusiones .....	46
Referencias.....	48
Anexos	

## RESUMEN

Ante la necesidad de monitorear, controlar y estudiar las variables físicas que están relacionadas al prototipo del primer efecto del proceso de desalación de aguas Multiple-Effect Distillation -Low Enthalpy (MED-LE), diseñado por el grupo Instituto de Ingeniería-Desalación y Energías Alternas IIDEA de la UNAM, se presenta en este trabajo la propuesta del sistema de adquisición de datos y un enlace de telemetría que comunica al sistema de desalación con la estación receptora ubicada en la Universidad Nacional Autónoma de Baja California (UABC).

En el capítulo 1 se presenta el objetivo particular de este trabajo de tesis y la metodología utilizada derivada del uso de herramientas como la investigación, análisis y toma de decisiones. Se menciona brevemente de manera adicional, la definición del problema a resolver.

En el capítulo 2 se abordan los conceptos generales acerca de la desalación desde las características principales de las distintas tecnologías aplicadas para este fin, hasta el proceso del sistema MED-LE el cual es importante conocer ampliamente para poder monitorear y definir de manera óptima las oportunidades de mejora para este sistema de desalación.

En el capítulo 3 se analizan las principales tecnologías disponibles en el mercado para la instrumentación del proceso y se propone un sistema de adquisición de datos tomando en cuenta los requerimientos planteados por el grupo IIDEA para la evaluación del prototipo construido. Además, se presenta el diseño de una interfaz gráfica desarrollada en LABVIEW®, la cual muestra el monitoreo de las variables físicas seleccionadas y funciona como herramienta para la detección oportuna de comportamientos inusuales del sistema.

En el capítulo 4 se desarrolla un análisis de las tecnologías que proveen un sistema de comunicaciones moderno y una propuesta de enlace considerando los parámetros y necesidades del control y estudio de la desaladora térmica.

Finalmente en el capítulo 5, se mencionan los puntos clave que se trabajaron al realizar esta tesis, planteando una serie de conclusiones obtenidas del análisis y estudio de la propuesta, del diseño de la interfaz de usuario y de la interrelación que existe entre los requerimientos de un cliente, en este caso IIDEA, y el cumplimiento de un objetivo particular que es el monitoreo óptimo de un sistema térmico.



## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 OBJETIVO**

Diseñar un sistema de monitoreo para el prototipo del primer efecto de la desaladora térmica de tipo MED-LE construida y diseñada por el grupo Instituto de Ingeniería-Desalación y Energías Alternas UNAM.

### **1.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

La metodología de trabajo empleada en la presente tesis está basada en los siguientes estatutos:

- Búsqueda de información bibliográfica acerca de las tecnologías de desalación mediante energías renovables.
- Búsqueda de información bibliográfica acerca del proceso de desalación MED.
- Planteamiento de requerimientos necesarios para el óptimo control y monitoreo de la desaladora térmica.
- Búsqueda particular sobre tecnologías destinadas a la instrumentación industrial y de telemetría.
- Diseño de interfaz desarrollada en LABVIEW® para una mejor visualización del comportamiento de las variables físicas a monitorear por el usuario final.
- Presentación de la propuesta final al grupo IIDEA.

### 1.3 ANTECEDENTES

El agua es una de las sustancias más abundantes en la Tierra, el agua salina representa alrededor del 97.5% del agua disponible mientras que el restante 2.5% está constituido por aguas subterráneas y de superficie, de los cuales 80% se encuentra en glaciares y aguas congeladas mientras que sólo un 0.5% está en los ríos, lagos y acuíferos.

El agua dulce se distingue del agua salina por la cantidad de sales que se encuentran disueltas en ella, el agua dulce posee un total de sólidos disueltos o salinidad superior a 1,500 ppm mientras que el agua salina posee desde 10,000 ppm hasta 45,000 ppm como es el caso del agua en el Golfo Árabe, debido a este amplio rango se considera un promedio de salinidad de 35,000 ppm. [2]

En la actualidad existe una gran demanda de agua dulce por diversas razones, sin embargo, el constante aumento demográfico mundial es el factor que más repercute en esta demanda. Por tal razón, desde hace varios años se han comenzado a explorar nuevas tecnologías para proveer del líquido vital.

Una de las tecnologías desarrolladas para la obtención de agua dulce con más auge es la desalación de agua marina. La desalación es una tecnología madura que emplea recursos energéticos convencionales. Sin embargo, con la necesidad de reducir los impactos ambientales ocasionados por el uso de esta tecnología, se ha planteado el uso de energías renovables como principal recurso energético en plantas de desalación. Actualmente se han desarrollado sistemas prototipos, los cuales emplean los recursos energéticos renovables entre los que se encuentran:

- Energía solar: Plantas desalinizadoras que utilizan celdas fotovoltaicas como fuente de energía o hacen uso de dicha energía para alimentar un sistema de destilación.
- Energía mareomotriz: Procesos de desalación utilizando como fuente de energía el movimiento generado por las mareas y suele ser utilizado con un sistema mixto con la aplicación de energía térmica. [2]

Existen también algunas investigaciones con el uso de biomasa o tecnologías mixtas. El grupo IIDEA ha desarrollado una propuesta para utilizar las tecnologías de desalación con el uso del recurso energético renovable que abunda en nuestro país: la energía geotérmica.

La energía geotérmica se refiere al calor almacenado en la capa que se encuentra debajo de la corteza terrestre; las reservas geotérmicas se forman cuando un acuífero adyacente a estas zonas, se calienta y en algunos casos cambia a fase de vapor que sube y es capturado por las rocas permeables y porosas que se encuentran debajo de las rocas impermeables. Estas reservas pueden alcanzar temperaturas de hasta 370°C. [5]

El estudio e implementación de plantas desaladoras que hacen uso de energía geotérmica en México han comenzado a surgir como una opción viable sobre todo en el norte del país, donde debido al llamado “Anillo de fuego” que corresponde al

sistema de placas tectónicas que cruza por América Latina, América del Norte, parte de Asia y Oceanía y que se caracteriza por su fuerte actividad volcánica la cual repercute directamente en el enorme potencial de reservas geotérmicas que existen en la Península de Baja California y parte de las costas del Pacífico. [5]

Ante el potencial auge de esta tecnología de desalación en el país, el grupo IIDEA que forma parte del Instituto de Ingeniería UNAM, ha manufacturado un prototipo del primer efecto evaporador del sistema MED-LE; dicho sistema se explicará en el siguiente capítulo.

Debido a que este sistema de desalación fue diseñado para una operación continua y se requiere una evaluación del rendimiento de dicho sistema, surge la necesidad de tener un control y monitoreo de las variables físicas dependientes del proceso, todo esto para la optimización del mismo y cálculos precisos en cuanto a la viabilidad y aprovechamiento del proyecto.

Ante esta problemática, se planteó un sistema de adquisición de datos y red de telemetría, temas en los que se basa esta tesis y de los cuales se hablará en los capítulos próximos.

## 2. TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN

### 2.1 CONCEPTO DE DESALACIÓN

El proceso de desalación consiste en la eliminación de sales y otros minerales que el agua marina posee para la obtención de agua apta para el consumo humano o para uso industrial y agrícola.

Existen diversas tecnologías para obtener agua dulce ya sea haciendo uso de energías renovables o no renovables. En la Figura 2.1 se muestra la distribución mundial de unidades de desalación al 2009.

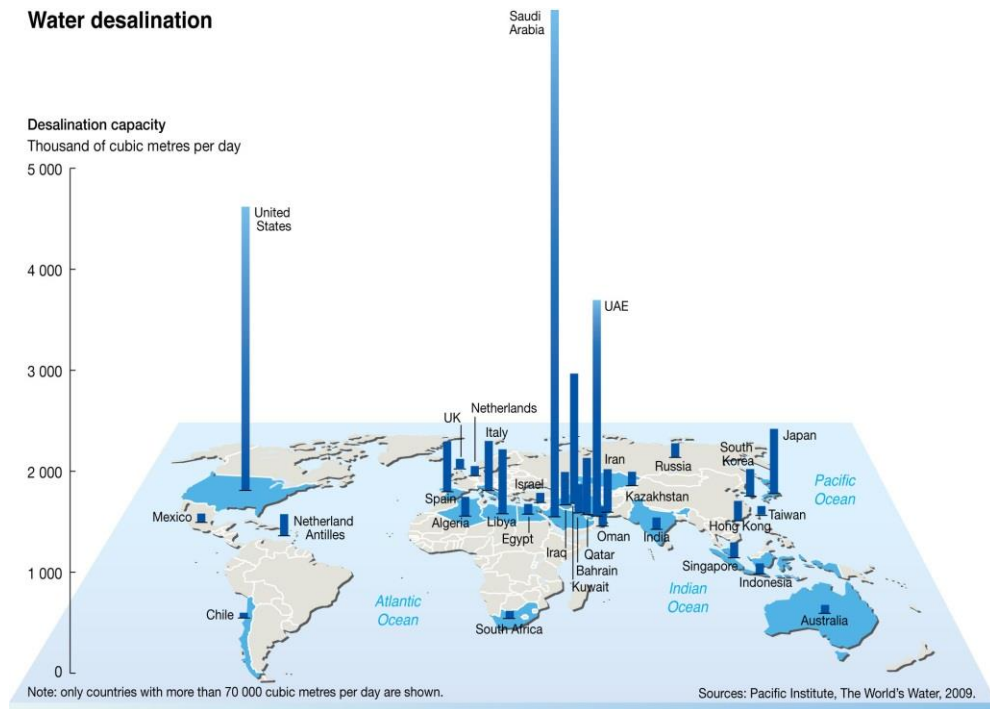


Figura 2.1 Distribución mundial de procesos de desalación. [7]

Como se observa los países árabes cuentan con un gran auge en implementación de procesos de desalación, por ejemplo, el 95% de la totalidad del recurso líquido que posee Kuwait es proveniente de la desalación. El país de más auge es Arabia Saudita, que por su ubicación geográfica al 2013, requería invertir 1.5 millones de dólares diarios en barriles de petróleo como combustible de más de 30 plantas desaladoras para la satisfacción doméstica e industrial. Actualmente, desarrollan una planta desaladora que al operar en 2018, producirá 600,000 m<sup>3</sup> de agua dulce al día, convirtiéndose en la más grande del mundo. [7]

## 2.2 PROCESOS DE DESALACIÓN

Al tener un panorama general sobre el concepto de desalación, se analizan las tecnologías utilizadas en este tipo de procesos, las cuales pueden ser clasificadas en dos tipos:

- Cambio de fase o proceso térmico.
- De membranas o procesos monofásicos.

La tecnología más utilizada en el grupo de membranas o procesos monofásicos es de Ósmosis Inversa, la cual consiste en la obtención de agua dulce mediante el uso de membranas semipermeables que sólo permiten el paso del agua prácticamente “pura”. Se nombra de esta forma, ya que de manera natural al tener en dos partes un mismo nivel de agua pero con diferentes concentraciones, el agua fluiría de menor a mayor concentración buscando el equilibrio, ha esto se le llama ósmosis; Al aplicar presión del lado de mayor concentración, se generará mayor cantidad de agua del lado de menor concentración, tal como se muestra en la Figura 2.2 [6]

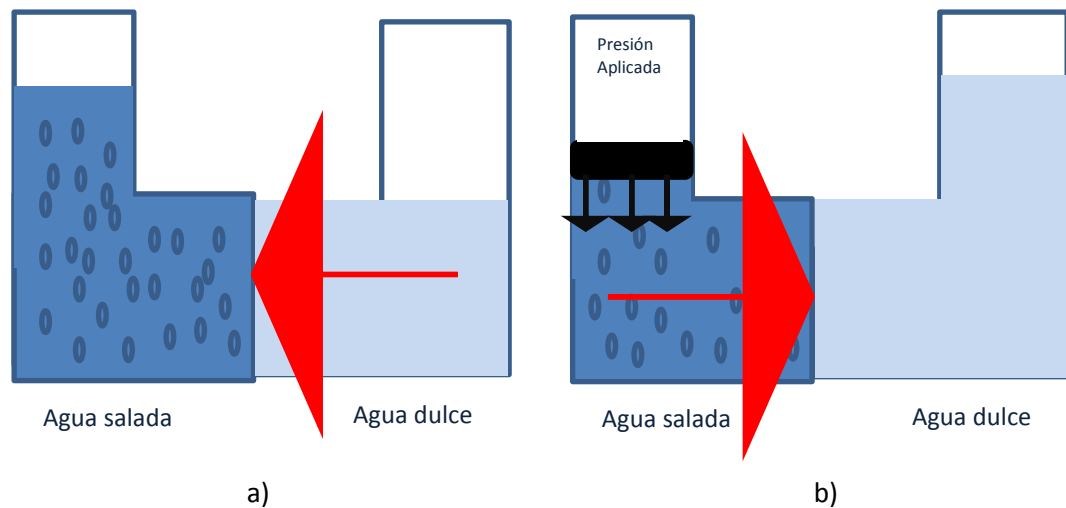


Figura 2.2 Proceso de desalación por membranas: a) Ósmosis b) Ósmosis inversa

En el segundo grupo de procesos térmicos o de cambios de fase, se tiene una toma de agua salina a la cual se le adiciona una cantidad de energía en forma de calor para cambiar de fase el agua salina, dejando los sólidos disueltos y partículas de tamaño significativo en una fase líquida de separación conocida como concentrado. Existen tres tipos de tecnologías de cambio de fase ampliamente usadas: Multi-Stage Flash Distillation (MSF), Mechanical Vapour Compression and Thermal Vapour Compression (MVC/TVC), las cuales se explicarán a continuación y MED que por ser el método a monitorear, se le dedicará una explicación más detallada; cabe destacar que cada proceso de destilado debe contar con una fuente de calor para su funcionamiento, al terminar dicho proceso se obtendrá un concentrado y el destilado, éste último será tratado para los fines que sean necesarios.

- **Destilación de Multi-Etapas Flash (MSF)**

Este proceso se basa en una serie de cámaras que reciben como alimentación el agua salina, la cual pasa por una etapa de precalentamiento dada por intercambiadores de calor que también actúan como condensadores del vapor de agua generado por las cámaras, cabe mencionar que cada cámara subsecuente mantiene su presión por debajo de la presión del vapor de alimentación de la cámara anterior, lo cual conduce a la obtención del destilado en cada cámara así como de la salmuera.

En la Figura 2.3 se muestra el proceso MSF de manera esquemática.

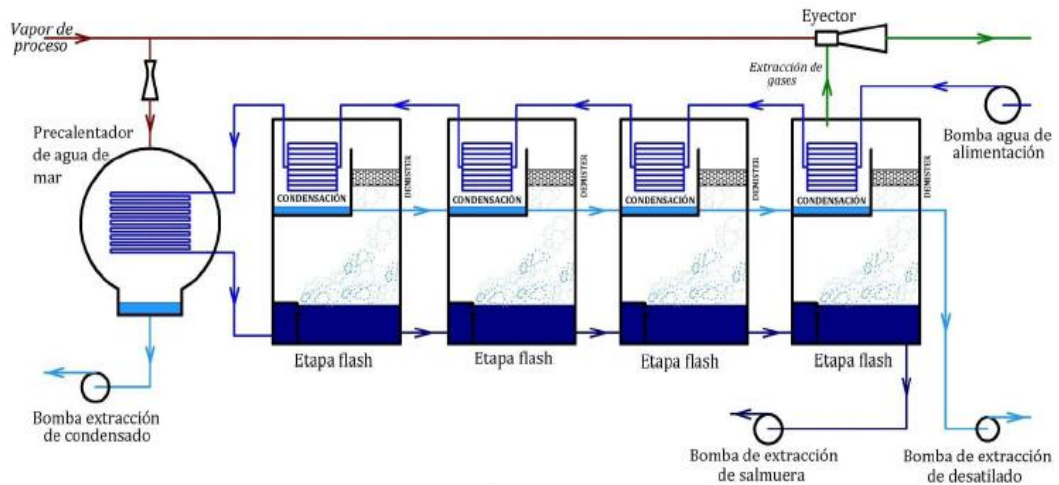


Figura 2.3 Desalación Multi-Etapas Flash [6]

- **Destilación MVC/TVC**

Este tipo de procesos consisten en un calentamiento previo de agua salina hasta llegar a la evaporación para posteriormente comprimirse y reutilizarse como fuente de calentamiento de agua salina, para pasar a un proceso de condensación y obtener el destilado. Entre los procesos de desalación de dos fases, este es el método menos utilizado debido a la cantidad de energía que requiere para llevarse a cabo.

La diferencia entre un sistema MVC y TVC radica en la fuente de combustible, en un proceso MVC (Compresión mecánica de vapor) se suele utilizar electricidad para energizar los principales componentes como los compresores, las bombas y controles, además se requiere del suministro de vapor sólo para iniciar el proceso; el sistema TVC (Compresión térmica de vapor) utiliza parte del vapor del último efecto como alimentación del primer efecto aumentando así la producción de destilado.

## 2.3 DESALACIÓN MED-LE

El proceso de desalación MED-LE es el sistema al que le será implementado el monitoreo de variables desarrollado en este trabajo, es importante poseer conocimientos del proceso para identificar las necesidades de medición y control.

En el proceso MED (por sus siglas en inglés), se tiene una serie de efectos de evaporación con presiones consecutivas decrecientes que producen agua destilada. Las presiones vacuométricas escalonadas se deben a que el agua se evapora a temperaturas más bajas conforme la presión disminuye. [6]

En este sistema de desalación el efecto precedente sirve como fuente de calentamiento para el siguiente efecto. En el caso de MED-LE (MED-Low Enthalpy) las siglas LE en inglés, se refieren a una baja entalpía del recurso geotérmico que se utiliza como fuente energética para el primer efecto y en las cámaras posteriores en intercambiadores, lo cual generará un incremento en la eficiencia del proceso de manera significativa. En la Figura 2.4 se muestra el modelo MED-LE con 3 efectos.

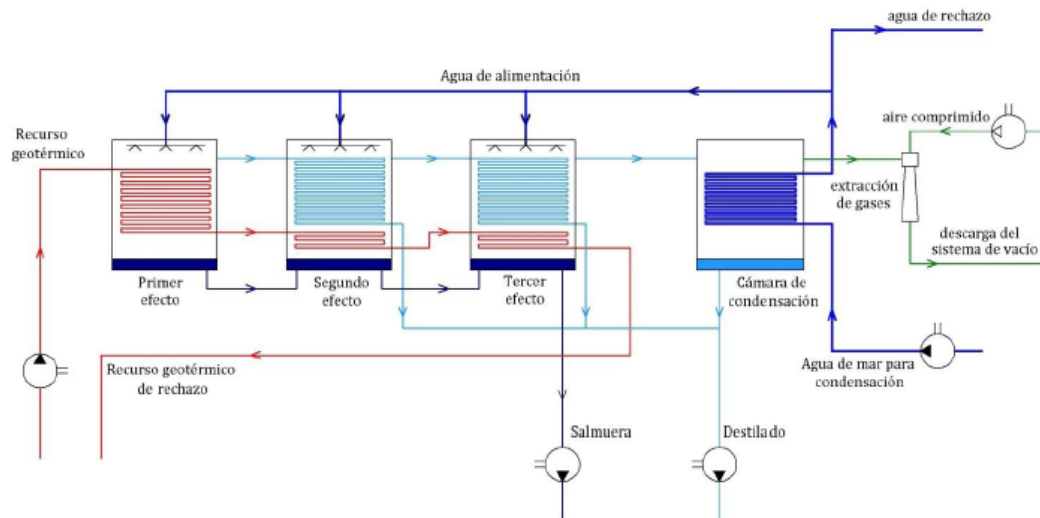


Figura 2.4 Sistema de desalación MED-LE con 3 efectos. [6]

Una vez estudiados los conceptos generales sobre el proceso de desalación MED-LE, el grupo IIDEA desarrolló y manufacturó un prototipo del primer efecto del sistema MED-LE, posteriormente se analizó detenidamente esta parte del proceso para identificar las variables importantes que contribuyeran a la realización de un monitoreo adecuado, con el fin de identificar las posibles mejoras que se desarrollarán en el sistema.

El prototipo del primer efecto del proceso de desalación MED-LE está diseñado para el recurso geotérmico de manera directa a temperaturas de aproximadamente 90°C. El recurso geotérmico será utilizado de manera consecutiva en los efectos siguientes ayudando al proceso cediendo una mayor cantidad de energía a los siguientes efectos para producir más vapor y, por lo tanto, obtener una mayor cantidad de destilado.

Este primer prototipo recibirá una de las tomas de agua salina en paralelo diseñadas para generar el vapor utilizado en el efecto siguiente.

La Figura 2.5 muestra los componentes fundamentales del primer efecto del proceso de desalación MED-LE.

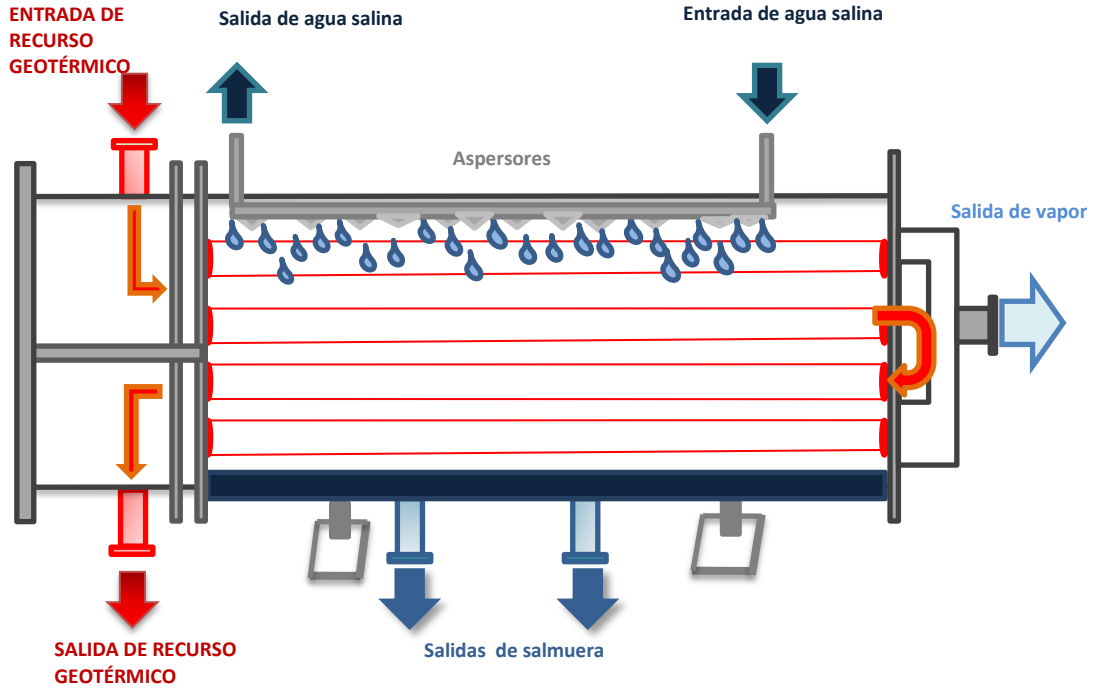


Figura 2.5 Esquema de primer efecto de desaladora térmica MED.

El proceso del prototipo del primer efecto manufacturado y basado en la tecnología de desalación MED-LE, consiste en la entrada del recurso geotérmico a temperatura relativamente baja (90°C) a la cámara para que posteriormente, guiado a través de un sistema de tuberías, actúe de tal manera que una parte del agua salina, que está siendo esparcida uniformemente sobre el exterior de los tubos, se evapore y el resto se convierta en un líquido concentrado o salmuera.

El Instituto de Ingeniería en conjunto con el Instituto de Geofísica de la UNAM, realizaron estudios demográficos que fueron necesarios para elegir la ubicación óptima de este prototipo de desaladora térmica tomando como primer paso la ubicación del primer efecto. Actualmente existe una amplia zona de manantiales calientes en la parte noroeste del país, especialmente en la Península de Baja California, ya que además de contar con cercanía a la costa, padecen problemas constantes de escasez de agua, por lo que al implementar esta desaladora utilizando energías renovables se contribuirá de manera significativa a disminuir esta necesidad en comunidades como Hermosillo, Tijuana o Ensenada. Por estas razones la primera ubicación que se consideró fue en Puerto San Felipe, Baja California.



### 3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL PRIMER EFECTO DE DESALADORA MED-LE

#### 3.1 ELECCIÓN DE VARIABLES A MONITOREAR

Como primer paso y antes de definir el concepto del sistema de adquisición de datos, es necesario analizar qué variables físicas se desean mantener en estudio. Como se vio anteriormente, el primer efecto del sistema MED-LE cuenta con diversas variables físicas con las cuales se podría trabajar para lograr un monitoreo completo; sin embargo, en consulta con el grupo IIDEA sobre las necesidades de monitoreo básico a cubrir, fue posible determinar los subsistemas en los que se requería tener un control, así como las variables físicas en estos subsistemas sobre las que se requiere un estudio detallado.

La Figura 3.1 muestra un esquema de los subsistemas de la desaladora donde se requiere un control estricto de variables físicas

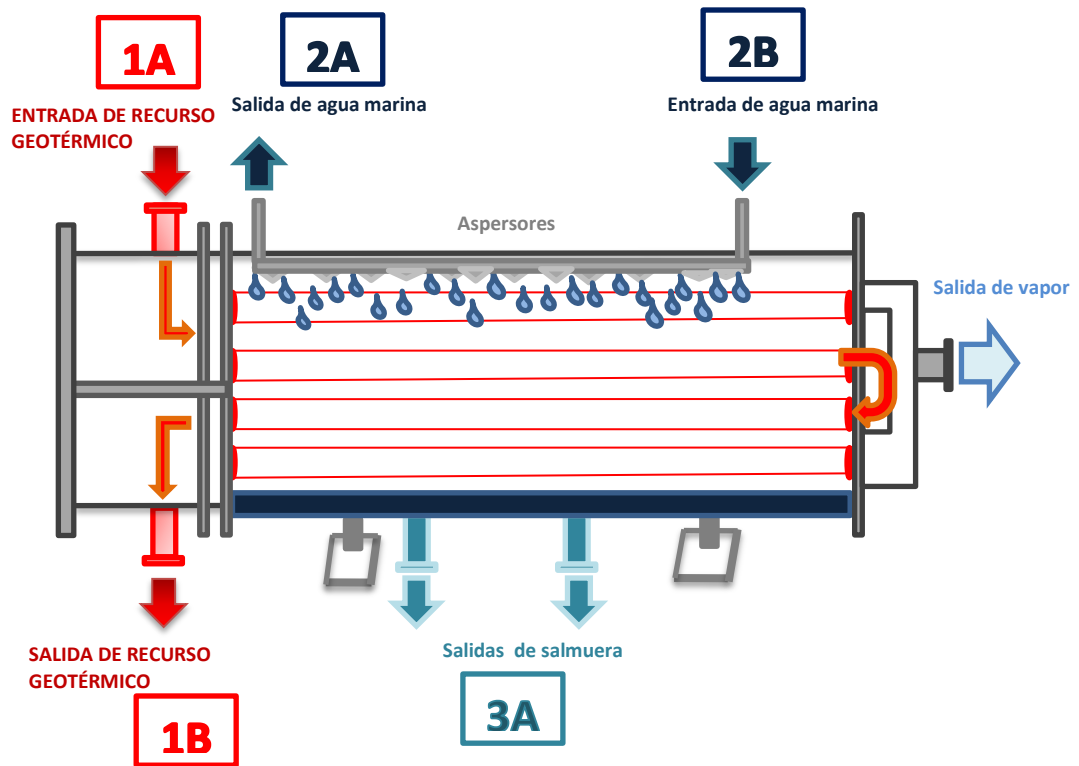


Figura 3.1 Subsistemas a monitorear del primer efecto de desaladora térmica.

Tomando como referencia este esquema, se definieron las variables físicas sobre las cuales se requiere la toma de medición, en la Tabla 1.1 se muestran los rangos de operación de las variables físicas a medir en cada subsistema.

Subsistema	Medición	Rango mínimo	Rango máximo	Resolución
1a	Temperatura	65° C	105° C	0.1°C
1a	Presión	1.5 bar	2.5 bar	0.1 bar
1a	Gasto másico	0 kg/s	1.5 kg/s	0.1 kg/s
1b	Temperatura	30°C	90°C	0.1°C
1b	Presión	1 bar	2 bar	0.1 bar
1b	Gasto másico	0 kg/s	1.5 kg/s	0.1 kg/s
2a	Presión	1 bar	2 bar	0.1 bar
2a	Gasto másico	0kg/s	1.5kg/s	0.1 kg/s
2b	Temperatura	15°C	35°C	0.1°C
2b	Presión	1.5 bar	2.5 bar	0.1 bar
2b	Gasto másico	0 kg/s	0.75 kg/s	0.1 kg/s
2b	Conductividad	25 000 ppm	45 000 ppm	1000 ppm
3a	Temperatura	45°C	55°C	0.1°C
3a	Presión	0.1 bar	1.5 bar	0.4 bar
3a	Gasto másico	0 kg/s	0.7 kg/s	0.1 kg/s
3a	Conductividad	35 000 ppm	55 000 ppm	1000 ppm

Tabla 1.1 Rangos de operación de cada subsistema de medición

### 3.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El diseño de un sistema de adquisición de datos es la opción más viable para tener un amplio estudio, análisis, monitoreo y automatización de cualquier sistema físico. Se puede decir que es un conjunto de herramientas incluyendo software y hardware, que provee ayuda al usuario para obtener datos de ciertas variables físicas dentro de un proceso, acondicionadas en una interfaz gráfica, donde se pueda relacionar la información arrojada directamente del sistema físico y la aplicación directa de dichos datos para el estudio en cuestión.

En la Figura 3.2 se observan los componentes necesarios para el diseño de un sistema de adquisición de datos

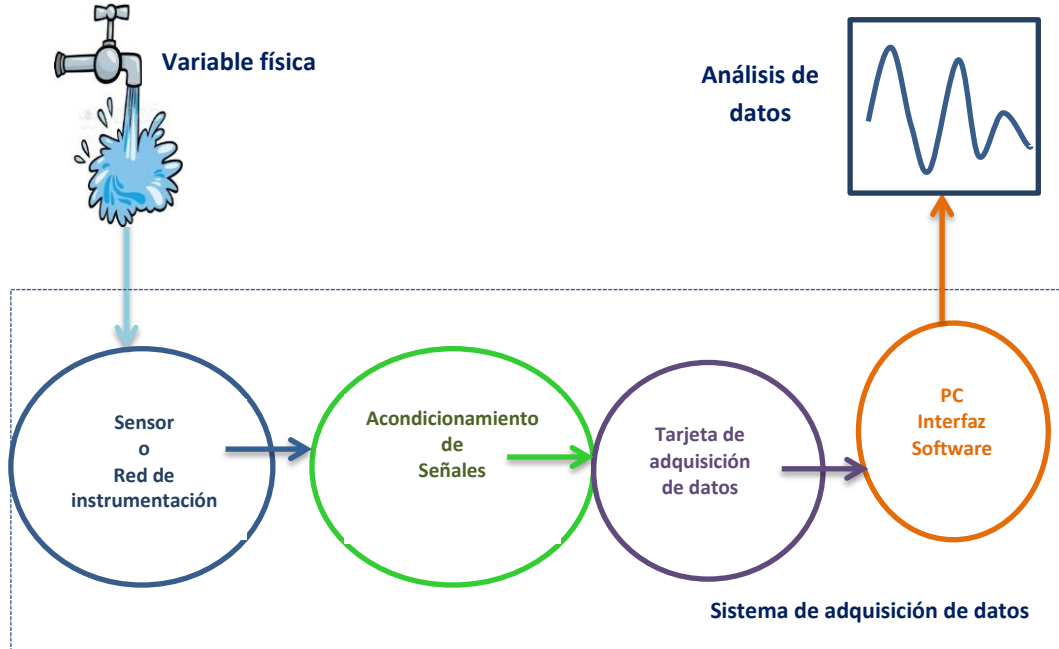


Figura 3.2 Componentes de un sistema de adquisición de datos

Para el diseño de la red de instrumentación, se realizó un amplio estudio sobre las tecnologías de instrumentación que hoy en día existen en el mercado.

### 3.3 ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE INSTRUMENTACIÓN

Se definieron tres requerimientos estrictamente indispensables para las mediciones de las variables físicas:

- Confiabilidad
- Precisión
- Bajo costo

Conforme a estos parámetros se propuso la búsqueda de la tecnología de instrumentación más viable a implementar.

Cabe mencionar que la idea preliminar, fue la de implementar una red de instrumentación basada en fibra óptica.

### 3.3.1 Fibra óptica como medio de instrumentación.

Actualmente la fibra óptica es considerada como un medio de comunicación bastante importante no sólo como medio de transmisión, sino también como herramienta de instrumentación, para éste fin se enfoca la parte de sensores basados en fibra óptica.

Este tipo de sensores trabajan con una tecnología FBG (Fiber Bragg Grating) o Rejillas de Bragg, las cuales consisten en un cambio de índice de refracción en el núcleo de la fibra óptica.

La fibra óptica está constituida por tres principales elementos que se muestran en la Figura 3.3

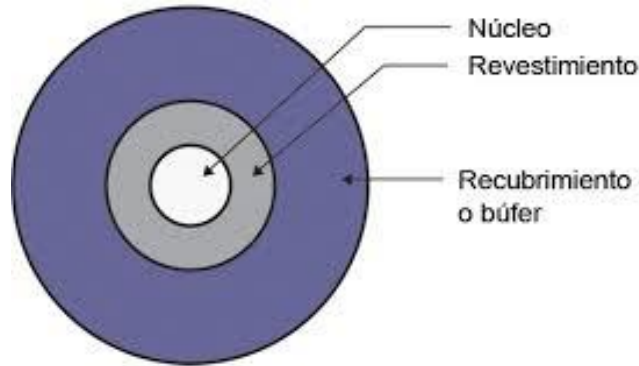


Figura 3.3 Elementos de una fibra óptica

- **Núcleo**

Elemento encargado de conducir la señal óptica, generalmente está hecho de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) aunque existen también las fibras de vidrio hechas de silicato de boro, las fibras más empleadas comercialmente son aquéllas hechas de dióxido de silicio. Cada elemento de fibra cuenta con un índice de refracción determinado, este índice de refracción está dado por la siguiente expresión:

$$n = \frac{c}{v}$$

Donde:

c Es la velocidad de la luz.

v Es la velocidad de la onda luminosa en el medio de transmisión

Sus medidas físicas dependen del número de modos que se propaguen, para una fibra monomodo se tiene una dimensión del diámetro de  $9 \mu\text{m}$ , mientras que para una fibra multimodo se tiene un diámetro de  $62.5 \mu\text{m}$ . [3]

- **Cladding o Revestimiento**

Este elemento envuelve y protege al núcleo, fabricado con materiales similares a los del núcleo, pero con un índice de refracción menor, todo esto para dar forma a un fenómeno que es conocido como Reflexión total interna, el cual se muestra en la Figura 3.4 y se puede definir como el fenómeno que permite a los rayos de luz captados en determinado ángulo se propaguen de cierta manera que permanezcan confinados dentro del núcleo, permitiendo así una total propagación a través de la fibra.

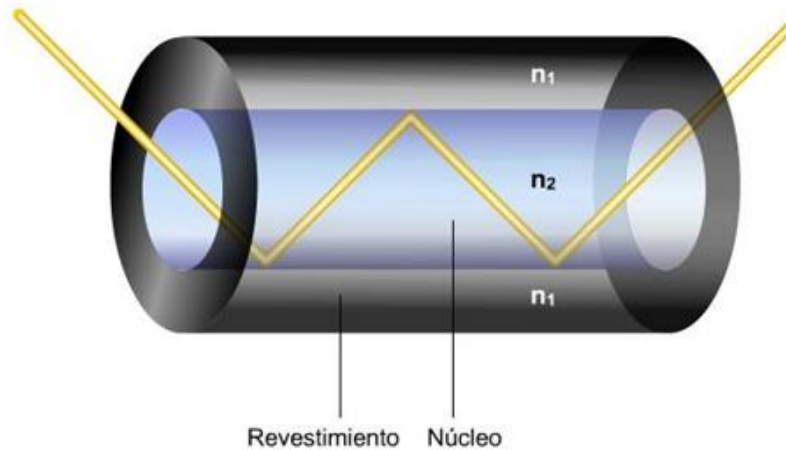


Figura 3.4 Reflexión total interna

Las dimensiones de los elementos dependen del número de modos que se propaguen por la fibra, en este caso las dimensiones físicas del cladding son exactamente iguales ya sea para una fibra monomodo o multimodo, el diámetro es de 125µm.

- **Recubrimiento o buffer**

Esta capa es aquella que protege al cladding y el núcleo, generalmente está hecha de una material plástico y su índice de refracción es menor al índice del cladding y del núcleo.

Para utilizar esta tecnología como medio de instrumentación, es necesario realizar modificaciones o perturbaciones de la estructura interna, es decir en el índice de refracción del núcleo en una determinada longitud de fibra óptica para crear las conocidas Rejillas de Bragg, cabe destacar que esta modificación es lograda gracias a la propiedad de fotosensibilidad del material, ya que se realizan con ayuda de un láser UV. De esta manera se puede tener un procesamiento de señal como se muestra en la Figura 3.5

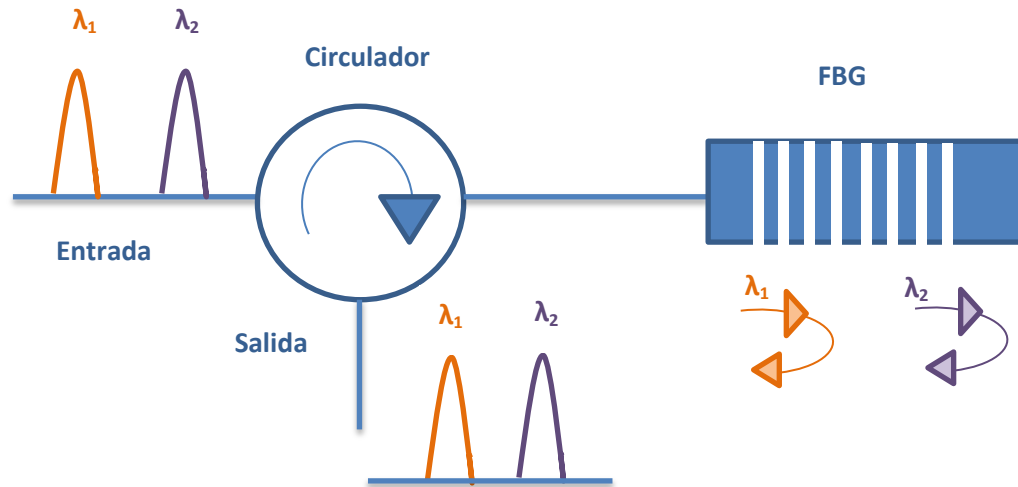


Figura 3.5 Sensado mediante Rejillas de Bragg

La utilización de una rejilla de Bragg es relacionado con un filtrado de señal, es decir, se tiene a la entrada del circulator una serie de pulsos provenientes de la fuente óptica, los cuales pasan posteriormente hacia el puerto de las FBG y donde algunos componentes de la luz incidente serán refractados, y si existe algún igualamiento de fase entre el plano de la FBG y la luz incidente, ésta se reflejará actuando las FBG como un filtro pasobanda. De esta manera, se tendrá a la salida del circulator ciertas longitudes de onda dependiendo de la longitud de onda de resonancia.

Esta tecnología suele ocupar un puesto importante en la instrumentación gracias a que las FBG o RPL que a diferencia con una FBG, cuentan con un periodo mayor a la longitud de onda de la señal incidente, se ven afectadas por factores como cambio de temperatura, presión o tensión, suelen sufrir un cambio significativo en la distancia entre sus planos y presenta un corrimiento con respecto a su longitud de onda. Conociendo su longitud de onda incidente, se podrá calcular la magnitud de la perturbación gracias al cambio físico externo.

Teniendo estos conocimientos previos se enlistan las principales ventajas de utilizar esta tecnología:

- Gran estabilidad y confiabilidad.
- Pérdidas por inserción bajas.
- Inmunidad hacia IEM.
- Rápida respuesta.

Al realizar una búsqueda acerca de posibles proveedores de sensores basados en FBG, se encontró la siguiente empresa “Alxenses Company Ltd.” proveniente de Hong Kong. Se investigó acerca de las características de la FBG, las cuales se muestran en la Figuras 3.6 así como su espectro de reflexión con una longitud de onda igual a 1553nm mostrado en la Figura 3.7.


FBG Specifications						
FBG (Fiber Bragg Grating)						
Parameters	Values				Units	Data Sheet
Wavelength Range	1510~1590				nm	 PDF file
FBG Profile	Apodized				--	
Center Wavelength Tolerance	+/-0.5				nm	
FBG length / Grating Length	3	5	10	15	mm	
Reflectivity	>70	>75	>90	>90	%	
Bandwidth at 3dB	<0.7	<0.7	<0.3	<0.3	nm	
Side Lobe Suppress Ratio (SLSR)	>10		>15		dB	
Coating and Recoating Material	Acrylate or Polyimide				--	
Proof Test	>100				kpsi	
Pigtail length on each side of FBG	1m / Customized length				m	
Fiber Type	SMF-28 compatible / polyimide				--	
Fiber Termination	Bare Fiber, FC/UPC, or FC/APC				--	
Operating Temperature	Acrylate FBG: -5~+80 Polyimide FBG: -40~+300				°C	
Storage Temperature	Acrylate FBG: -40~+80 Polyimide FBG: -40~+300				°C	

Figura 3.6 Especificaciones de Rejilla de Bragg “Alxenses Company”

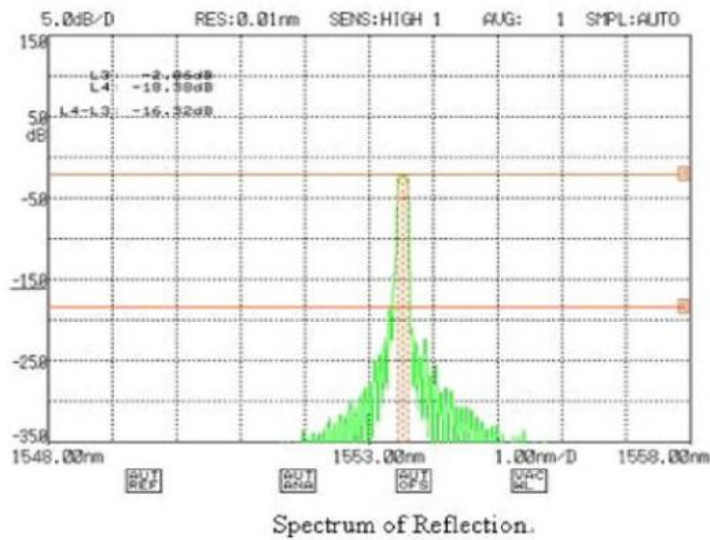


Figura 3.7 Espectro de Rejilla de Bragg “Alxenses Company”

Cuando se decidió contactar a los fabricantes para obtener algún presupuesto de algún sensor que ayudara en el monitoreo de variables físicas, se obtuvo un costo bastante alto de alrededor de \$700US por sensor, lo cual representa una limitante bastante fuerte, por esta razón a pesar de cumplir con los requerimientos de precisión y confiabilidad, esta tecnología tuvo que ser descartada por su alto costo de inversión.

### 3.3.2 Tecnología basada en electrónica

Considerando los requerimientos propuestos, se concluyó que dentro de esta tecnología se podía encontrar algo que contribuyera de manera satisfactoria al objetivo de monitorear el proceso de desalación.

Dependiendo de la variable que se desea monitorear se manejan diferentes técnicas de medición, a continuación se explicarán las tecnologías más utilizadas actualmente para las variables físicas a monitorear.

- **Temperatura**

Lo más usado para la medición de temperatura actualmente son los llamados RTD (Resistance Temperature Detector) los cuales funcionan en relación con la variación de la resistencia eléctrica de diversos materiales, existen principalmente 3 metales que ayudan en la construcción de estos elementos: níquel, cobre y platino, siendo el último el material más utilizado en la actualidad para la fabricación de este tipo de sensores por su gran estabilidad, precisión y manejo de un amplio rango de temperatura. [4]

Las principales ventajas de utilizar RTD son las siguientes:

- Alta estabilidad
- Alta precisión
- Bajo costo
- Amplio rango de temperatura operacional

Como se comentó, el platino resulta el mejor metal para la construcción de estos dispositivos, ya que su rango de medición es de  $-100^{\circ}\text{C}$  a  $600^{\circ}\text{C}$  mientras que su precisión es de aproximadamente  $0.01^{\circ}\text{C}$ , además de poseer un coeficiente de temperatura positivo, lo cual significa que a un aumento de temperatura corresponderá un aumento de resistencia eléctrica, por tanto, se realizó una búsqueda profunda para encontrar un RTD de platino que cubriera las necesidades que requieren las partes necesarias de la desaladora térmica. [4]

#### Sensor de temperatura Veris TIWA0B15C1050

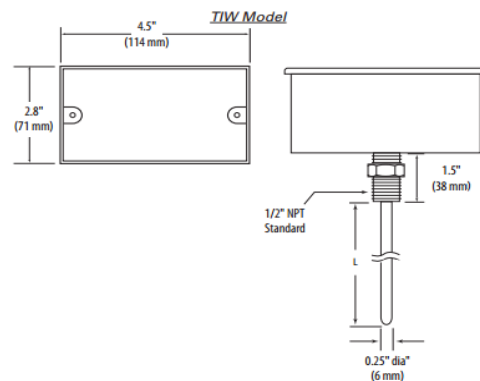


Figura 3.8 Medidas físicas de sensor de temperatura Veris



A continuación se enlistan las especificaciones técnicas de este sensor:

- Entrada de alimentación: 12-30 VDC con 30mA máx.
- Salida: 2 hilos 4-20mA
- Tipo de sensor: Pt RTD 100Ω
- Precisión de transmisión:  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
- Rango de operación:  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $105^{\circ}\text{C}$
- Precio \$52.50 EA
- Adaptador para salida 4-20mA

Se decidió que este sensor era el ideal a utilizar ya que cumplía con los siguientes requerimientos:

- Rango de operación dentro de las necesidades
- Precisión
- Confiabilidad
- Alta estabilidad
- Bajo costo
- Contacto directo con la Universidad de Baja California, lo cual equivale a un ahorro en gastos de envío

- **Presión**

Para la medición de esta variable física se recurre a la utilización de transductores, los cuales por definición, son aquellos dispositivos que transforman cualquier medición física, en nuestro caso presión, en una magnitud eléctrica que posteriormente será procesada para su medición y control.

Para la medición de presión, la cual puede definirse como aquella fuerza normal que distribuida uniformemente actúa sobre una unidad de superficie, pueden existir 2 formas de medición dependiendo del estado del fluido:

- Presión estática: Presión que se mide sobre un fluido en reposo y depende de la densidad del líquido y la altura del mismo.
- Presión dinámica: Presión producida sobre una superficie perpendicular a la dirección del movimiento del fluido.

La mayoría de los sensores que nos ayudan en el monitoreo de esta variable convierten la medida de presión en un desplazamiento, para posteriormente convertir este desplazamiento en una señal de salida eléctrica, de voltaje o corriente; En el mercado existen 3 tipos de medición: Piezoeléctrica, Capacitancia variable y por galgas extensiométricas, siendo este último el más utilizado. [4]

El método de galgas permite que cualquier cambio de presión se vea reflejado en el desvío del diafragma tal como se muestra en la Figura 3.9

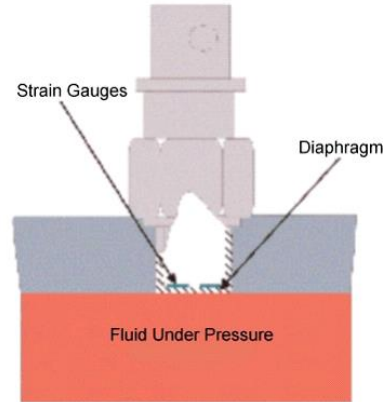


Figura 3.9 Funcionamiento de sensor de presión por método de galgas

Teniendo como referencia esta información se eligió el siguiente sensor que cumplió con los requerimientos necesarios.

#### Sensor de presión Veris PG07AM

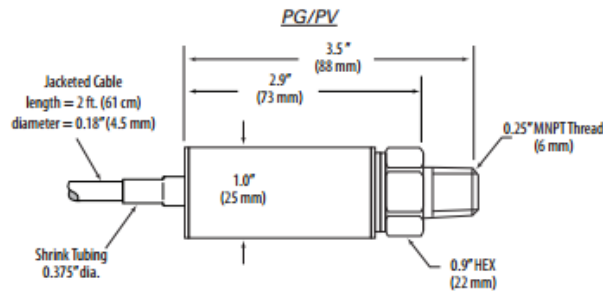


Figura 3.10 Especificaciones físicas de sensor Veris PG07AM

#### Especificaciones:

- Voltaje de alimentación: 10-28 VDC
- Salida: 2 hilos 4-20mA
- Precisión:  $\pm 0.25\%$  BFSL (Best Fit Straight Line)
- Rango de operación: 0 psig a 100 psig

- **Gasto Másico**

En el caso de esta variable, la única manera de obtener un control sobre ella, es colocando un sensor que nos permita medir la cantidad de volumen que fluye a través de la tubería y convertirlo en una señal eléctrica.

El tipo de sensor que se eligió para esta variable fue el siguiente:

Medición de Recurso Geotérmico:

Sensor de gasto másico Signet 525-1



Figura 3.11 Signet 525-1

Especificaciones:

- Rango de temperatura:  $-18^{\circ}\text{C}$  a  $149^{\circ}\text{C}$
- Rango de operación: 0.5 m/s a 6 m/s
- Presión máxima admisible: 103 bar

Medición de agua salina:

Se eligió un sensor de tipo magnético ya que el rango de temperatura es menor que lo que se requiere en el recurso geotérmico así como el rango de medición de flujo.

Al tratarse de un sensor con una tecnología magnética, el fluido impulsa la turbina que se encuentra en la parte inferior de la cámara de medición, el movimiento es decir, la velocidad de la turbina se transmitirá magnéticamente al registro de medición dando de esta manera la lectura de la variable. [4]

Multijet Modelo LXSJ

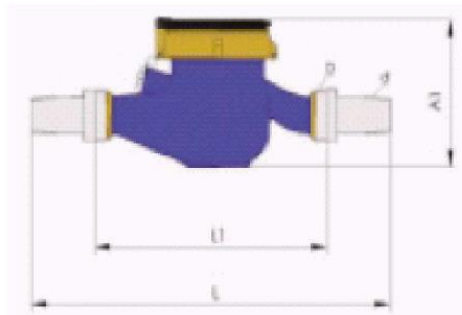


Figura 3.12 Sensor de gasto másico Multijet

Especificaciones:

- Temperatura máxima:  $50^{\circ}\text{C}$

- **Conductividad**

Esta propiedad se puede definir como la capacidad que posee una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica y su incremento actúa directamente proporcional a la cantidad de sólidos minerales que contiene dicha solución. Su unidad de medida es el mho o siemens el cual corresponde al recíproco de la resistencia eléctrica (ohm).

La técnica para medir esta variable es mediante electrodos colocados dentro de la cubierta del sensor, a los cuales se les aplica un voltaje estando inmersos en la solución a medir por lo que la caída de voltaje que se provocará debido al cambio de resistencia será la manera de medir la conductividad por unidad de longitud.

Dicho procedimiento de medición está relacionado con la siguiente expresión:

$$G = k \frac{A}{L}$$

Donde:

$G$  Es la conductancia (Siemens)

$k$  Es kappa, la conductividad específica.

$A$  Es área superficial del electrodo (cm<sup>2</sup>).

$L$  Es la distancia entre los electrodos (cm)

Teniendo esta información se buscó un sensor que cubriera los rangos de medición requeridos para el control de la desaladora, el cual se describe a continuación:

Sensor de conductividad Signet 2842



Figura 3.13 Signet 2842

Especificaciones:

- Rango de operación: 50 ppm a 100000 ppm
- Rango de temperatura: -10°C a 131°C con un máximo de 2.6 bar

Debido a que el sensor es de tipo pasivo y por lo tanto no cuenta con ninguna salida analógica, se requirió de un controlador que arrojara una salida de corriente de 4..20mA.

Controlador Signet 8860



Figura 3.14 Signet 8860

Especificaciones:

- Rango de operación en conductividad: 0.055 a 400,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Alimentación eléctrica: 12 a 24 VDC  $\pm 10\%$  a 0.5 A máximo
- Salida: 3 salidas analógicas de corriente 4...20mA

### 3.3.3 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ)

Para obtener un sistema de adquisición de datos completo, se requiere después de obtener las señales proporcionadas por los sensores, un Data Acquisition (DAQ) que en este caso contribuirá en la parte de acondicionamiento de señal, así como en la función de convertidor analógico-digital.

En la parte de acondicionamiento, la señal puede ser amplificada, filtrada, aislada entre otras propiedades, mientras que para explicar la conversión analógico-digital, se debe hablar del siguiente teorema:

#### Teorema de Nyquist

Este teorema nos dice que cualquier señal analógica que quiera digitalizarse debe primero muestrearse, es decir, considerar valores de la señal en ciertos valores discretos de tiempo y esta frecuencia de muestreo estará dada por la siguiente relación:

$$\frac{1}{2f_{\text{máx}}} \leq T_s; \quad T_s = \frac{1}{f_s}$$

Siendo:

$f_{\text{máx}}$  La frecuencia máxima de señal analógica [Hz]

$T_s$  El periodo de muestreo [s]

$f_s$  La frecuencia de muestreo [Hz]

$$2f_{\text{máx}} = f_s$$

Teniendo así que la frecuencia de muestreo debe ser 2 veces la frecuencia máxima de la señal que se quiere digitalizar.[9]

Otra parte importante de la conversión analógica-digital es el proceso de cuantización, el cual puede definirse como aquel proceso en el que se toma parte de la señal

muestreada y dependiendo del valor de la muestra tomada, se compara con un nivel de cuantización reduciendo así el número de valores de amplitud de las muestras.

Dichos procedimientos de conversión se muestran en la Figura 3.15

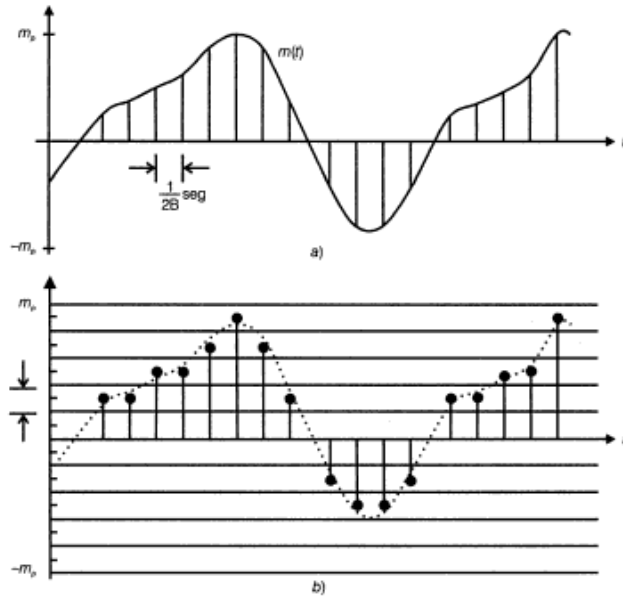


Figura 3.15 a) Muestreo de la señal b) Cuantización de la señal

Al explicar de manera general el proceso de conversión analógico/digital, el siguiente paso será presentar el módulo DAQ elegido para el monitoreo de la desaladora térmica, adecuándose a la cantidad de señales a analizar y el cual se muestra en la Figura 3.16

Tarjeta de adquisición de datos NI 9208

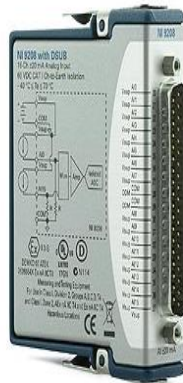


Figura 3.16 DAQ modelo NI 9208

Especificaciones:

El DAQ Modelo NI 9208 posee 16 entradas de corriente de  $\pm 21.5$  [mA] con una velocidad de muestreo de 500 [S/s], rango de temperatura para un buen funcionamiento de  $-40$  [°C] a  $70$  [°C] y compatibilidad con interfaces como LABVIEW®.

Para complementar el sistema se propuso utilizar el Chasis NI 9171 el cual se muestra en la Figura 3.17 y es necesario para agrupar el módulo de adquisición y la lectura de las muestras arrojadas por los sensores, además de ser la conexión directa con la interfaz de usuario en la PC.



Figura 3.17 Chasis NI9171

Especificaciones:

El NI9171 posee una ranura de conexión tipo USB, en caso de tener un módulo digital cuenta con cuatro contadores/temporizadores de 32 bits, cuenta con NI Signal Streaming lo cual le permite escribir medidas de formas continuas con excelente precisión, en este caso las mediciones de los 15 sensores.

Como accesorio se sugirió utilizar un NI993 ya que el módulo NI 9208 tiene una conexión estándar D-sub de 37 pines y NI993 contiene un accesorio de D-sub a terminal de tornillo, creando así un cable que se conecta directamente al módulo. El dispositivo NI993 se muestra en la Figura 3.18



Figura 3.18 Accesorio NI993

A continuación la Tabla 1.2 presenta la cotización del sistema de adquisición de datos para el monitoreo del proceso de desalación.

Concepto	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Sensor de Presión	5	3984	19920
Sensor de Temperatura	4	653.625	2614.5
Flujómetro para recurso geotérmico	2	16000	32000
Flujómetro para agua salina	3	9975	29925
Sensor de conductividad	2	13500	27000
Módulo de entrada 16 canales	1	8005	8005
Chasis Compact DAQ	1	3670	3670
Bloque terminal	1	1830	1830
SubTotal			124964.5
IVA 16%			19994.32
Total			144958.82
Precio dólar	12.45MX		

Tabla 1.2 Cotización del sistema de adquisición de datos

### 3.4 SIMULACIÓN EN LABVIEW DE LA RED DE INSTRUMENTACIÓN

Para completar el sistema de adquisición de datos se diseñó una interfaz de usuario haciendo uso de un programa especializado en el control y monitoreo de sistemas, LABVIEW®.

Se propuso realizar como primer parte una animación en la que se explicara de manera concreta los pasos que deben seguirse en el proceso de MED-LE, para lograr esto, se creó con ayuda de un integrante del grupo IIDEA, un modelo base haciendo uso de AUTOCAD el cual contiene las partes esenciales del primer efecto de la desaladora térmica.

Posteriormente se desarrolló la interfaz gráfica con ayuda de algunas herramientas gráficas en LABVIEW®, los tubos por los cuales fluye el recurso geotérmico y los aspersores de agua salina. En las Figuras 3.19 y 3.20 se muestran imágenes del diseño.



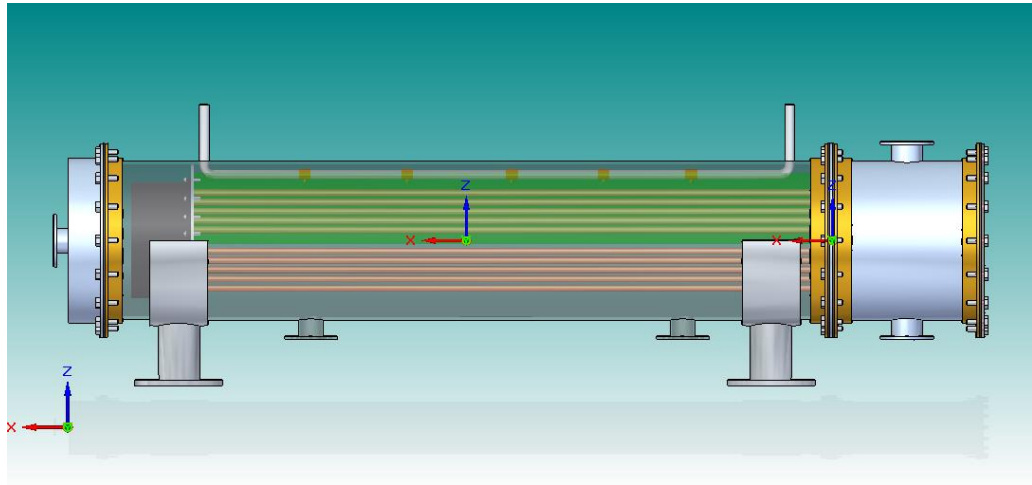


Figura 3.19 Diseño en AUTOCAD de la desaladora MED

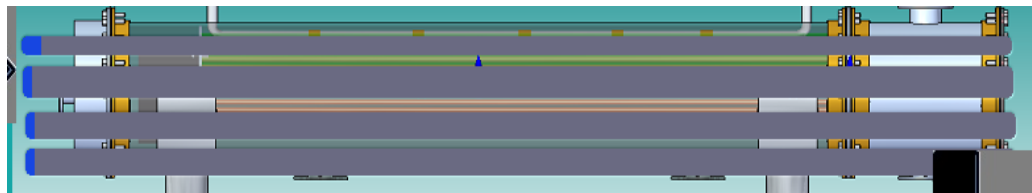


Figura 3.20 Diseño de la sección de tubería en LABVIEW

Como siguiente paso se crearon los indicadores de entradas y salidas dentro del proceso de desalación, tal como se muestra en la Figura 3.21.

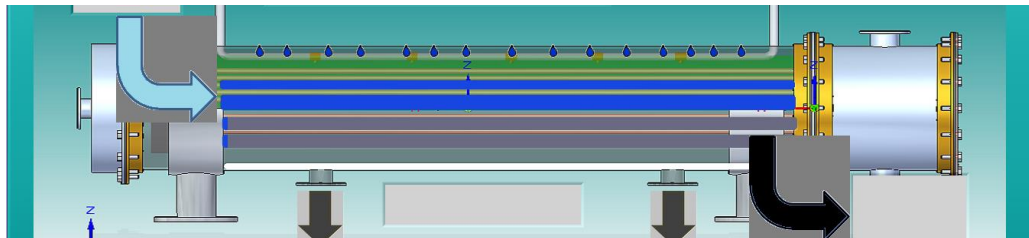


Figura 3.21 Diseño de indicadores de entrada y salida

Para completar la animación se generó un código en el cual se obtuvo una secuencia lógica respecto a la operación normal de la desaladora.

Cabe mencionar que esta animación sirvió como base para cumplir con los objetivos consecuentes.

### Representación de las variables físicas a medir dentro del primer efecto MED-LE

Para el diseño de esta animación se requirió información sobre la ubicación de las variables a medir en el proceso de desalación definiendo los rangos de operación de cada variable física. En la Figura 3.22 se muestra la pantalla en la que se observa la presentación final de la animación.



Figura 3.22 Presentación de las variables a medir en LABVIEW

- **Diseño y construcción de una interfaz gráfica de usuario**

Para la construcción de esta interfaz gráfica fue necesario realizar una investigación sobre el comportamiento de la desaladora para poder identificar fallas y conocer el protocolo a seguir.

Como primer paso se definieron los requerimientos y principales características con las que debería contar la interfaz:

- Diseñar y construir una interfaz amigable para cualquier persona, sin la necesidad de estar familiarizada con el funcionamiento o utilización de un equipo de cómputo.
- Una interfaz que ayude fácilmente en la identificación y detección de fallas.
- Generar un historial con los datos obtenidos por los sensores en función del tiempo para un posible análisis y control estadístico, así como la transmisión de esta información hacia la estación ubicada en UABC.

Se desarrolló un bosquejo detallado del diseño de la interfaz gráfica de tal manera que cumpliera con las características previamente definidas, en la Figura 3.23 se muestra el panel frontal en LABVIEW®.

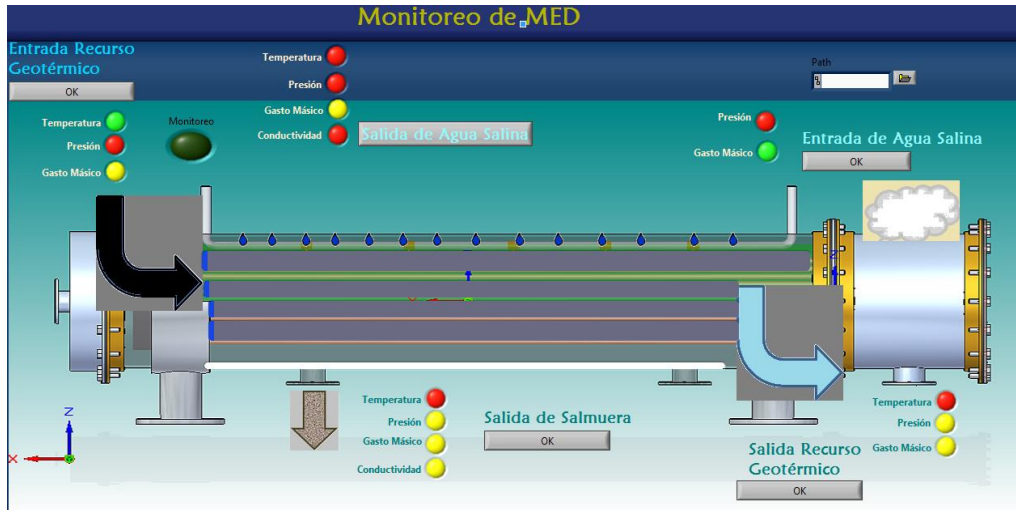


Figura 3.23 Panel frontal de interfaz de usuario LABVIEW

Después de tener una interfaz que mostrara información general acerca del estado de la desaladora, se integró información más detallada poniendo en cada subsistema donde se requerían mediciones, una pestaña que al ser oprimida por el usuario se pudiera observar de manera remota mediante gráficas, el comportamiento de cada variable física.

En las Figuras de la 3.24 a la 3.30, se muestran las ventanas correspondientes a cada subsistema de monitoreo con la información detallada de las variables.

### Entrada de Recurso Geotérmico



Figura 3.24 Gráficas de Temperatura y Presión de Entrada Recurso Geotérmico

### Salida de Recurso Geotérmico

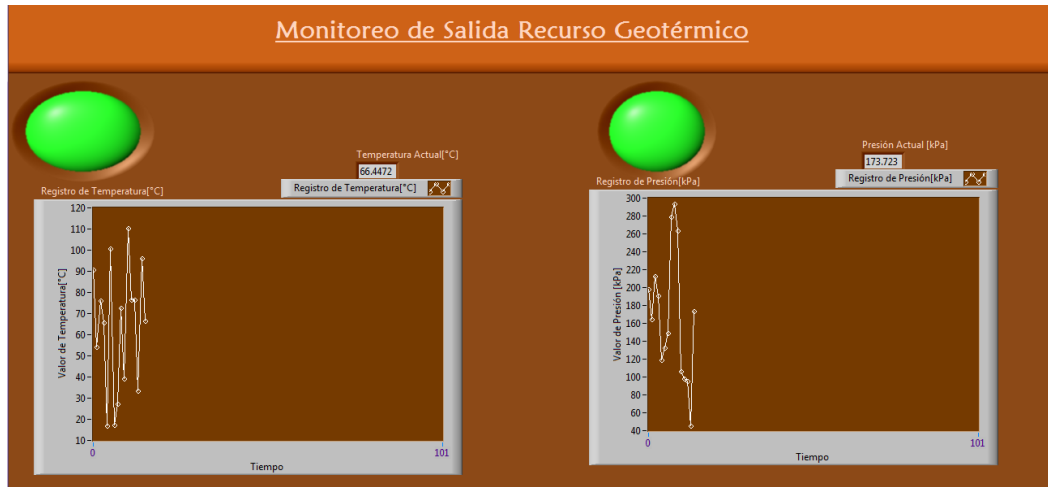


Figura 3.25 Gráficas de Temperatura y Presión de Salida Recurso Geotérmico

### Entrada de Agua Salina

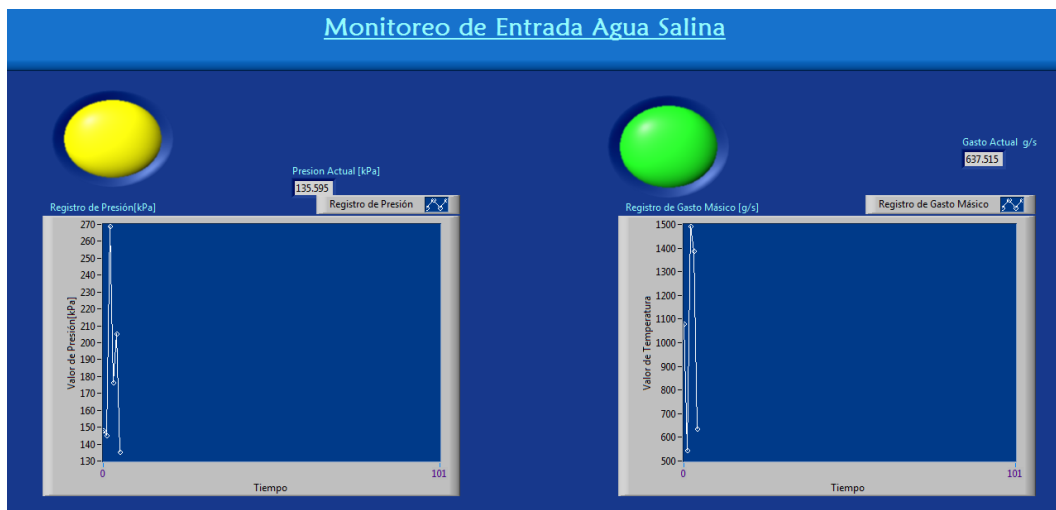


Figura 3.26 Gráficas de Presión y Gasto másico Entrada Agua Salina

### Salida de Agua Salina



Figura 3.27 Gráficas de Temperatura y Presión en Salida Agua Salina

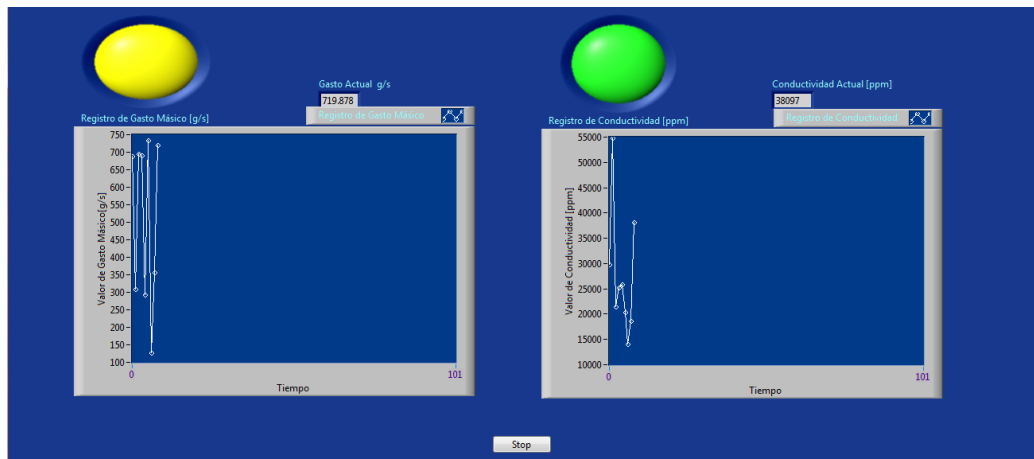


Figura 3.28 Gráficas de Gasto másico y Conductividad en Salida Agua Salina

### Salida de Salmuera

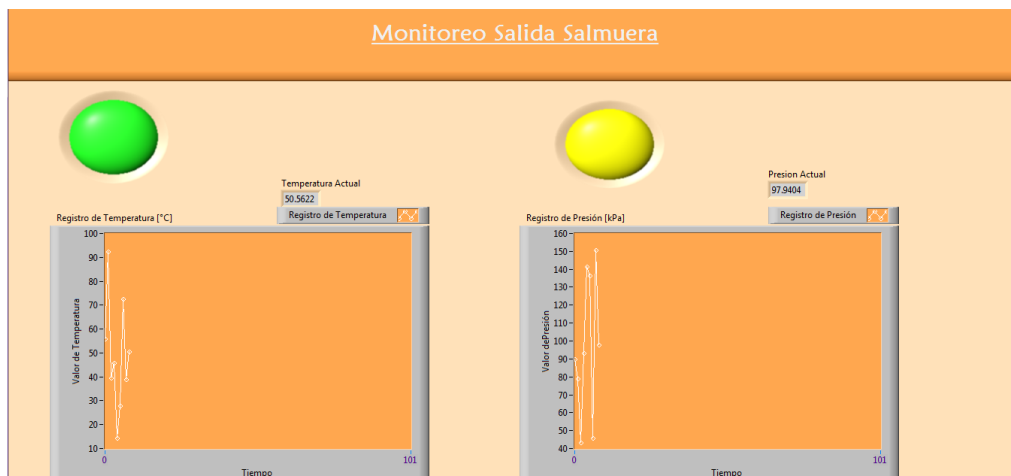


Figura 3.29 Gráficas de Temperatura y Presión en Salida Salmuera

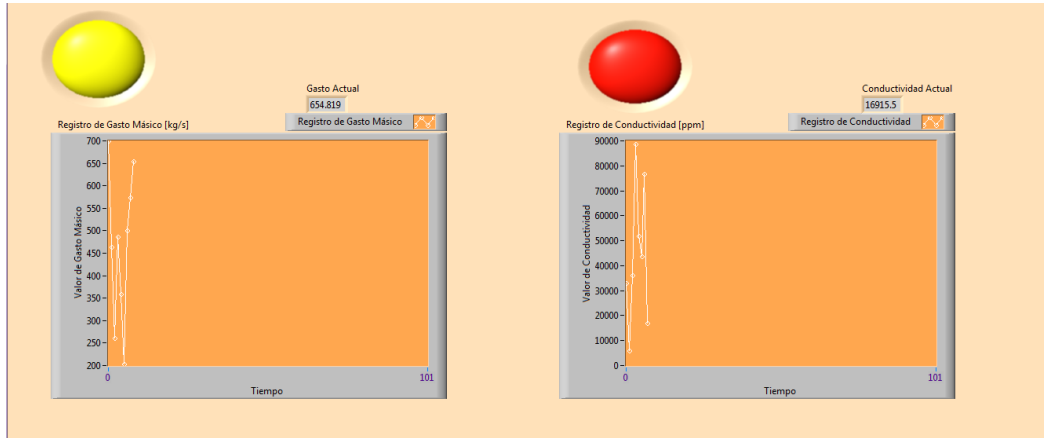


Figura 3.30 Gráficas de Gasto másico y Conductividad en Salida Salmuera

Otra parte importante de la interfaz, fue la recolección de datos arrojados por los diversos sensores en determinado periodo de tiempo. Al revisar la necesidad de mantener un grupo de información para ser tomado posteriormente como historial y ser enviado para su estudio, ya sea para el momento de una toma de decisión a consecuencia de alguna falla, o simplemente debido a una revisión rutinaria, se trabajó en la forma más directa de encontrar estos registros digitales.

Se concluyó que la manera más apropiada de presentar estos datos en la interfaz, sería mediante una ruta de acceso, la cual dada una dirección predeterminada por un administrador, nos trasladará hacia la información recolectada durante cada hora y archivados por semana.

En la Figura 3.31 se muestra la sección destinada al historial de datos

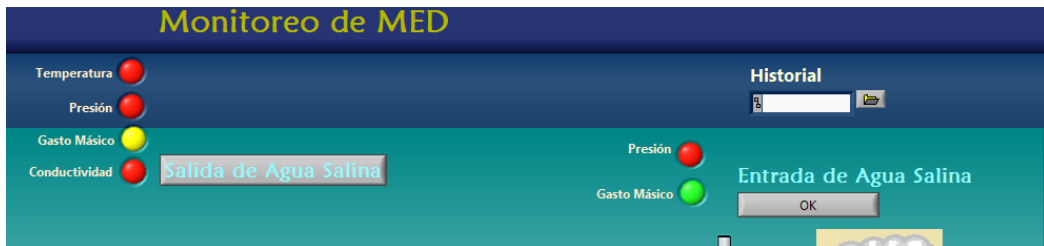


Figura 3.31 Ubicación del historial de datos en interfaz de usuario LABVIEW

De esta manera se logró una interfaz gráfica que brindara un panorama amplio sobre el estado de la desaladora cumpliendo con el objetivo de obtener un monitoreo detallado de la misma.

## 4. TELEMETRÍA

### 4.1 CONCEPTO DE TELEMETRÍA

La conceptualización de la telemetría puede ser dada por sus raíces: *tele* que significa distancia y *metron* que significa medida.

De manera general, la telemetría es aquella rama de la tecnología que permite la medición a distancia de magnitudes físicas, de manera manual o automática.

Los sistemas que utilizan esta tecnología tienen como principal ventaja un control y supervisión remota del funcionamiento del mismo, así como el envío de información recolectada por el sistema hacia una estación para su análisis y estudio.

En la actualidad existen diversos tipos de sistemas que han aprovechado esta tecnología para tener un control estricto de sus procesos, aunque la mayoría de los sistemas se encuentran dentro del área industrial.

Con una visión amplia acerca de este concepto se decidió plantear los siguientes requisitos con los que debía contar el enlace de telemetría:

- Cubrir las necesidades de nuestra red de instrumentación
- Tener una buena comunicación entre la estación transmisora y receptora
- Poseer movilidad por si se requiere algún tipo de cambio de ubicación de la desaladora
- Adecuar el enlace de telemetría al presupuesto sugerido por el grupo IIDEA

### 4.2 TECNOLOGÍAS PARA ENLACES DE TELEMETRÍA

Lo primero a realizar fue una búsqueda acerca de las tecnologías que hacen uso de los mejores medios de transmisión actualmente.

#### 4.2.1 Generalidades de un enlace por ondas electromagnéticas

Al hablar de transmisión por vía terrestre, ésta se refiere a la comunicación por ondas electromagnéticas, por lo que se explicará brevemente cómo es que viajan estas ondas a través del medio.

- Onda eléctrica y espectro radioeléctrico

Básicamente cuando los electrones son excitados, éstos se propagan mediante una oscilación de un campo eléctrico y magnético a través del espacio libre, dando como resultado una onda electromagnética.

El espectro radioeléctrico es una representación de todas las radiaciones de origen electromagnético que existen en la naturaleza y se encuentran divididas en diversas regiones dependiendo el rango de frecuencias donde se propaguen.

La división actual del espectro electromagnético en bandas de frecuencia va desde los 30 kHz hasta 300GHz. En la Figura 4.1 se muestra la división del espectro

electromagnético en la actualidad, así como los nombres correspondientes a cada una de ellas. [1]

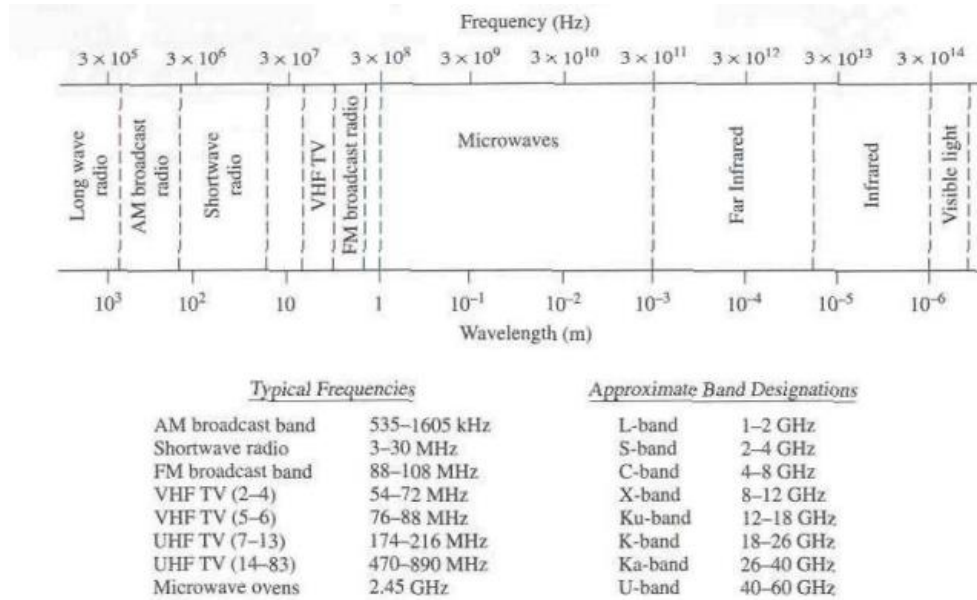


Figura 4.1 División del espectro radioeléctrico [8]

A pesar de que el espectro radioeléctrico representa un enorme rango de frecuencias, no todas estas frecuencias pueden ser utilizadas para telecomunicaciones. Según la ITU (International Telecommunication Union) el espectro se divide en:

- Very Low Frequency 9kHz a 30 kHz: Radio a larga distancia
- Low Frequency 30kHz a 300kHz: Radiodifusión naval
- Medium Frequency 300kHz a 3MHz : Radiodifusión AM y comunicación aeronáutica
- High Frequency 3MHz a 30 MHz: Radiodifusión
- Very High Frequency 30MHz a 300MHz: Red de servicios de radio
- Ultra High Frequency 300MHz a 3GHz: Difusión de TV
- Super High Frquency 3GHz a 30GHz: Radar
- Extremely High Frequency 30GHz a 300GHz: acceso inalámbrico de banda ancha
- 300 GHz- aún no definida. [1]

A simple vista se podría pensar que existe un amplio rango de frecuencias sobre las cuales establecer algún tipo de comunicación, sin embargo debido a la existencia de algunos conflictos en la utilización de frecuencias bastante bajas o altas, la parte media del espectro electromagnético es usada para establecer algún tipo de enlace de telecomunicaciones, es decir: radio, microondas, infrarrojo, y porciones de luz visible del espectro.

Teniendo esta información como antecedente, se analizaron los requerimientos de instalación y costos necesarios para la implementación del enlace de telemetría utilizando las principales tecnologías.



#### 4.2.2 Microondas

Esta tecnología está definida en la banda de frecuencias de 1GHz a 100GHz, pero los sistemas hoy en día operan por arriba de 50GHz. Cabe destacar que generalmente las microondas suelen ocupar canales de 30GHz a 45GHz por lo que esto tiene como consecuencia un amplio ancho de banda disponible para el usuario final o los operadores de redes de telecomunicaciones. [1]

Las microondas también se encuentran sujetas a las posibles dificultades del medio físico, ya que las precipitaciones, niebla, y un sin número de estados meteorológicos pueden causar reflexiones, atenuaciones o ecos.

Otro punto a destacar en esta tecnología es que requieren de una línea de vista, una clara y vista sin obstáculos para un buen desempeño.

A continuación se enlistan las ventajas y desventajas en el uso de microondas para un enlace.

##### Ventajas

- Bajo costo: la utilización de enlaces terrestres con microondas es menos costoso que el uso de comunicación por líneas terrestres
- Portabilidad y flexibilidad de reconfiguración: portabilidad para una instalación de microondas en un edificio
- Amplio ancho de banda: soporta una alta transmisión de datos y multimedia.

##### Desventajas

- Requerimiento indispensable de línea de vista
- Susceptibilidad al ambiente ya que pueden provocar distorsión o pérdida por algún momento de la señal
- Requerimiento de permisos de licencia
- Restricciones en cuanto a la colocación de torres repetidoras dependiendo la zona que se desea enlazar

Considerando esta información como referencia, se contactó con diversos proveedores de estos enlaces, sin embargo, la mayoría de ellos requerían información bastante detallada acerca del proceso que se requería monitorear y dicha información por seguridad del proyecto y del grupo IIDEA debía ser confidencial.

Por otro lado, se logró obtener una aproximación al menos del costo del equipo e instalación con la compañía Cable AML de alrededor de 12 000 US, al contactarlos para un estudio más detallado no fue posible llegar un acuerdo.

De una serie de empresas dedicadas a la implementación de este tipo de enlaces, la única compañía que estuvo dispuesta a dar una aproximación detallada en costos fue Cambium Networks.

Lo primero que se requirió fue un estudio amplio del terreno y con la ayuda de un software especializado que fue proporcionado por la compañía Cambium Networks con el cual se obtuvieron los resultados que se muestran en las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4.

- Estación transmisora: San Felipe 31°31' 19.97"N  
115°0' 4.65"W
- Estación Receptora: UABC 32° 31' 49.07" N  
116°57' 51.58" W

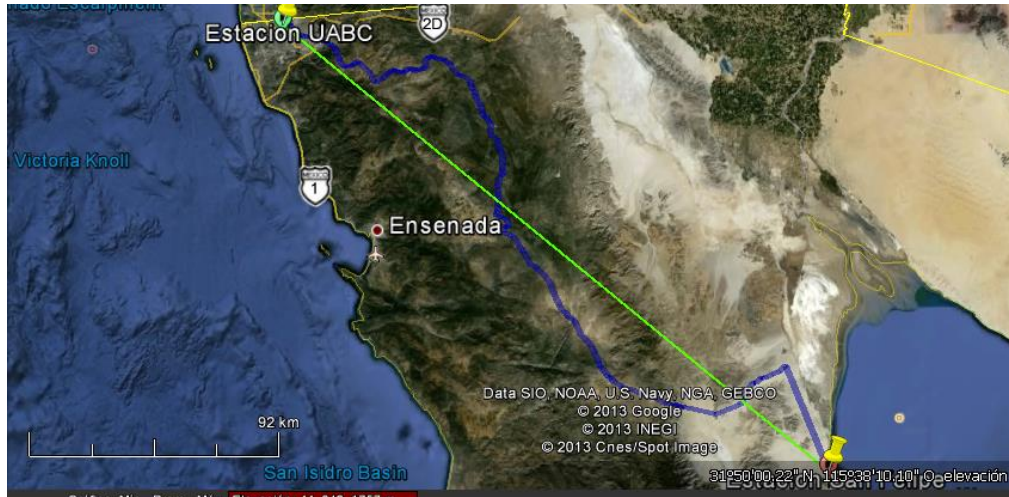


Figura 4.2 Enlace UABC-San Felipe



Figura 4.3 Estudio del terreno enlace UABC-San Felipe

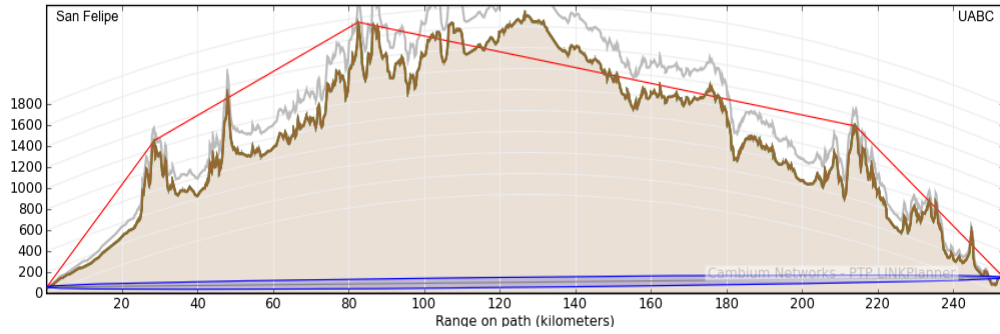


Figura 4.4 Estudio de terreno sin Línea de vista UABC-San Felipe

Distancia del enlace: 253.168 km

Para comprender un poco más acerca de los enlaces de microondas en la Figura 4.5 se muestran las partes esenciales con las que debe contar cada terminal y tantos repetidores sean requeridos.

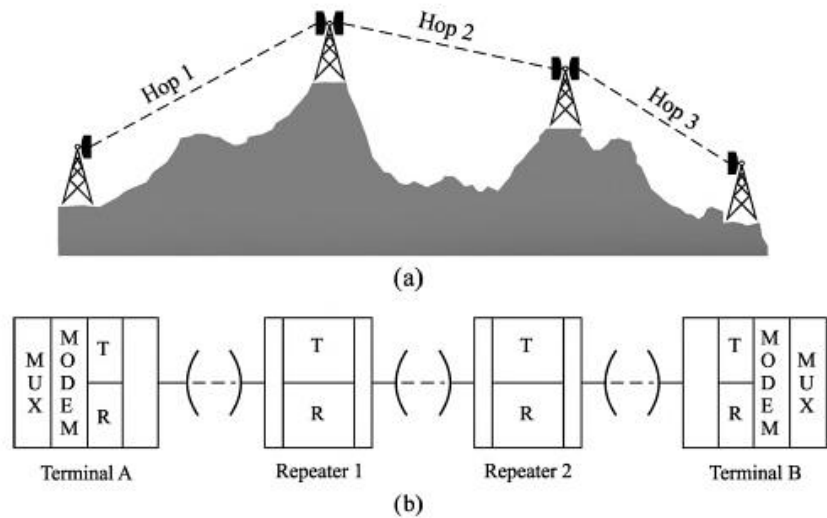


Figura 4.5 Componentes en un enlace de microondas con repetidores

Al hacer un análisis del terreno se dedujo que al menos se requerían 6 torres repetidoras debido a los obstáculos con lo que contaba el enlace, por lo que se concluyó que no existía viabilidad en el proyecto, ya que más allá de la inversión excesiva en el equipo y colocación de torres, al tratarse de una zona rural se debía pedir algún tipo de permiso a las comunidades que habitan en diversas zonas a través de la sierra de Baja California.

Hablando esto con el grupo IIDEA, se tomó la decisión de intentar realizar el enlace desde el Puerto de San Felipe hacia Puertecitos, ya que en esta ubicación se encuentra una estación de la Universidad de Baja California.

Se realizó un estudio del terreno teniendo como resultado una distancia de 126.58 km y colocando algunos repetidores se pudo tener línea de vista tal como se muestra en las Figuras de 4.6 a la 4.15.

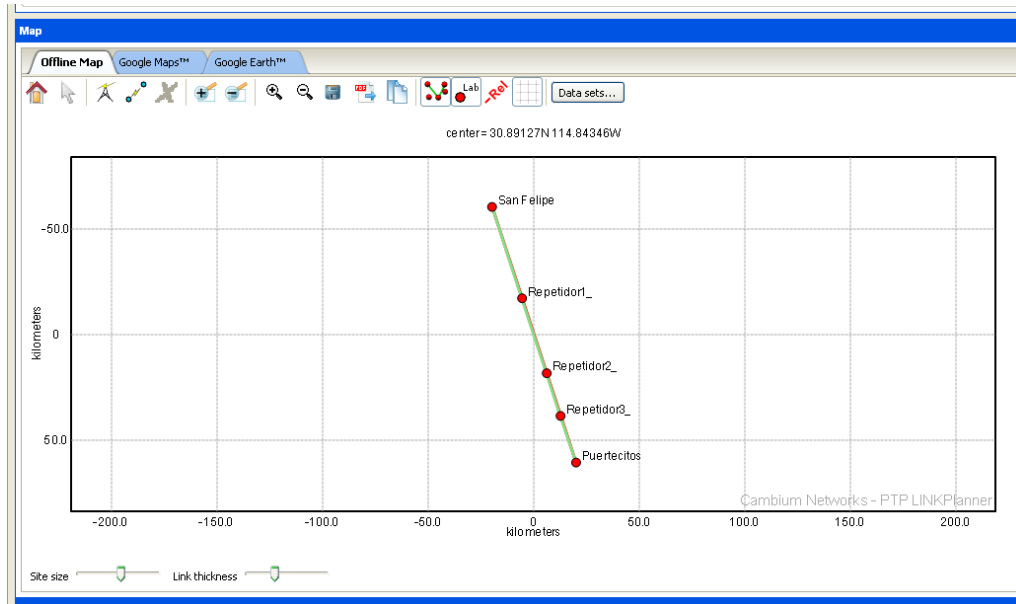


Figura 4.6 Ubicación gráfica de los repetidores enlace San Felipe-Puertecitos

San Felipe 31.43356N 115.05031W  
 Repetidor 1 31.04600N 114.90150W



Figura 4.7 Ubicación San Felipe

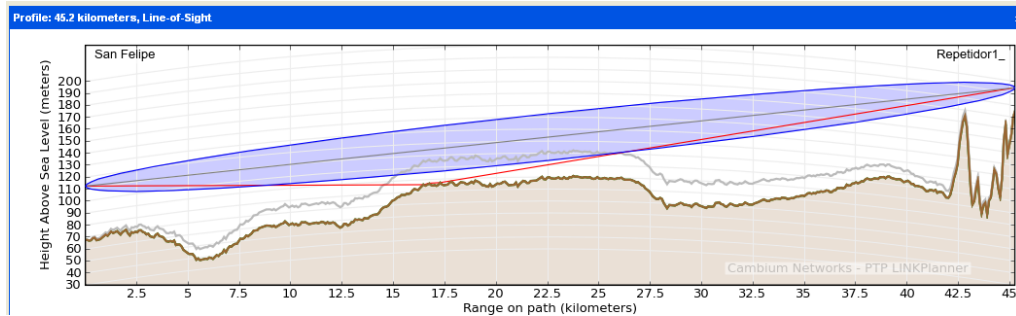


Figura 4.8 Enlace San Felipe-Repetidor1



Figura 4.9 Ubicación Repetidor 1

Repetidor 1: 31.04600N 114.90150W  
Repetidor 2: 30.72813N 114.78000W

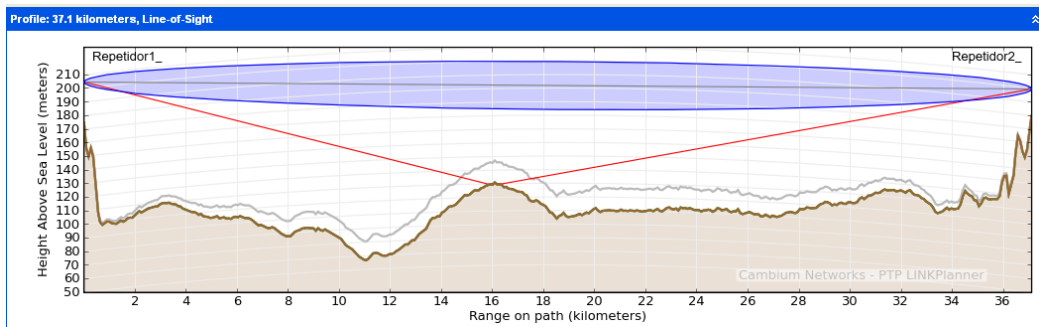


Figura 4.10 Enlace Repetidor 1-Repetidor 2

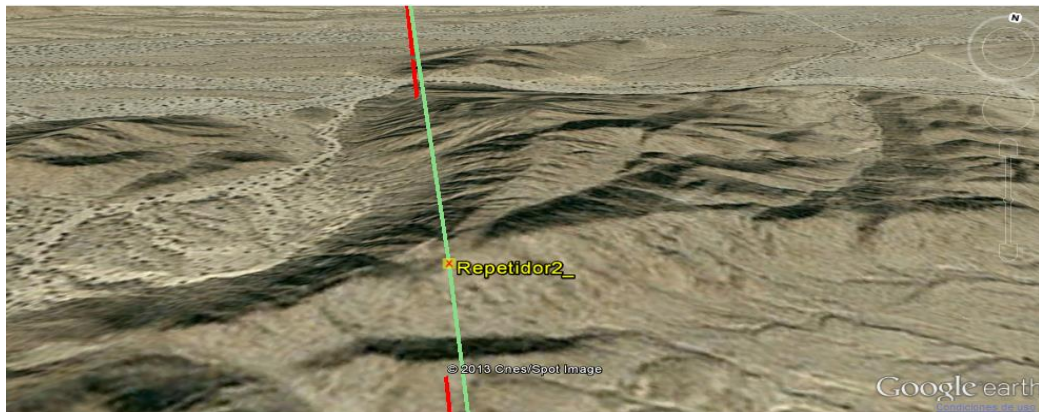


Figura 4.11 Ubicación Repetidor 2

Repetidor 2: 30.72813N 114.78000W  
Repetidor 3: 30.54700N 114.71221W

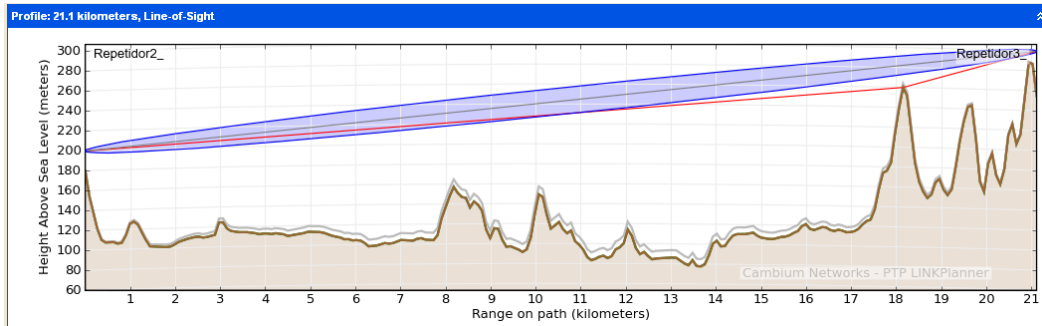


Figura 4.12 Enlace Repetidor 2- Repetidor 3

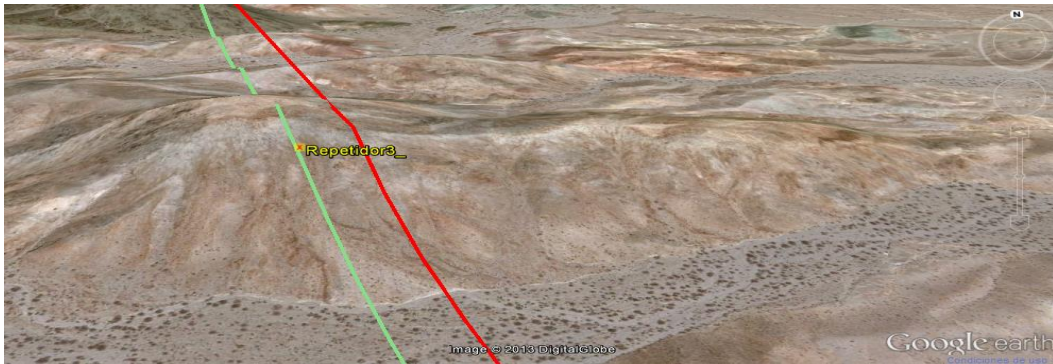


Figura 4.13 Ubicación Repetidor 3

Repetidor 3: 30.54700N 114.71221W  
 Puertecitos: 30.34898N 114.63662W

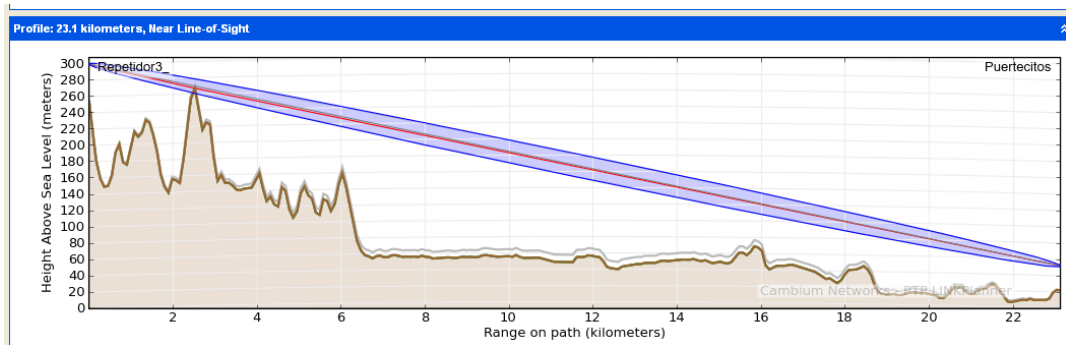


Figura 4.14 Enlace Repetidor 3-Puertecitos



Figura 4.15 Ubicación Puertecitos

Después de encontrar línea de vista en el enlace, se definió el material que se requería para la instalación del mismo, para lo cual se obtuvo lo mostrado en la Figura 4.16

P/N	Description	Qty	Notes
BP5530BH-2	PTP 54600 Full Integrated (ETSI/RoW) - Link Complete	1	
BP5530BHC-2	PTP 54600 Full Connectorised (ETSI/RoW) - Link Complete	3	
BP5830BH-2	PTP 58600 Full Integrated (ETSI/RoW) - Link Complete	1	
RDH4503	2-FT. (0.6M), 5.25-5.85 GHz, WITH FINE ADJUSTMENTS. DUAL POLE	6	Not available in all regions - please check with your local supplier
WB2907	LPU End Kit PTP 600 (2 kits required per Link)	10	
WB3176	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CATSE (Recommended for PTP)	5	

Figura 4.16 Lista de material recomendado por Cambium Networks

Contactando con el proveedor Cambium Networks, se obtuvo la siguiente cotización mostrada en la Tabla 1.3

Concepto	Precio Unitario	Total	Modelo
PTP Accessories, Cable reel - 328 ft. (100 meters) bulk clad (BBDGe - Copper-clad steel)	295	1475	WB3176A
LPU End Kit for PTP600 (2 kits required per Link) (Old PN WB2907D)	300	3000	WB2907H
5.4/5.8GHz PTP Antenna, 2-ft. (0.6m), 5.25-5.85GHz, 29.0 dBi, Dual-Pol, H-Pol & V-Pol	\$1,600.00	9600	RDH4503B
PTP600 5.8GHz, PTP 58600 Full Integrated (ETSI/RoW) - Link Complete, 300 Mb/s	14999	14999	BP5830BH-2EE
PTP600 5.4GHz, PTP 54600 Full Integrated (ETSI/RoW) - Link Complete, 300 Mbps	14999	14999	BP5530BH-2FF
PTP600 5.4GHz, PTP 54600 Full Connectorized (ETSI/RoW) - Link Complete, 300 Mbps	14999	44997	BP5530BHC-2FF
		<b>TOTAL US</b>	<b>89070</b>
<b>Dólar</b>	<b>12.7492</b>		
		<b>TOTAL MX</b>	<b>1135571.24</b>

Tabla 1.3 Cotización del material con Cambium Networks

Dado que además del costo del equipo se requería un gasto de envío, se contactó con NOVA Telecomunicaciones, un proveedor de Cambium Networks en México, dando una cotización total como la que se muestra en la Figura 4.17

Partida	Cant.	DESCRIPCION	P. UNIT	IMPORTE
01	01	Suministro, Instalación y Configuración de enlace de banda ancha de 127 km de distancia, a 100 Mbps de ancho de banda agregado entre sus 2 sitios. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 PTP 600 Full 5.4 Ghz backhaul Integrated.</li> <li>• 03 PTP 600 Full 5.4 Ghz backhaul Connectorized</li> <li>• 06 Antenas de 3 Ft. Dual Polarization</li> <li>• 08 PTP Lightning protection box.</li> <li>• 08 Power IDU for PTP600.</li> <li>• 12 1/2" Superflex 10 Ft Jumpers NM connectors</li> <li>• 12 Coaxial Surge protection</li> </ul>	\$104,200.00	\$104,200.00
		<b>Son: Ciento Cuatro Mil, Doscientos Dólares 00/100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$104,200.00</b>

Figura 4.17 Cotización de material para enlace de microondas NOVA Telecomunicaciones

**Dicha cantidad en Pesos Mexicanos es 1, 345,909.72**

### 4.2.3 Fibra óptica

La siguiente tecnología que se analizó fue un tendido terrestre de fibra óptica, ya que en la actualidad CFE se ha encargado de tender en casi todo el país, fibra óptica para brindar diversos servicios: CFE-TELECOM, es el nombre de dicha red la cual se muestra en la Figura 4.18



Figura 4.18 Red de fibra óptica CFE-TELECOM

Al contactar con CFE, se propuso establecer un enlace desde su nodo más cercano, para lo cual se obtuvieron dos posibilidades que se muestran en la Figura 4.19



Figura 4.19 Posibles alternativas de enlace de fibra óptica



Sin embargo, al proponer estas ideas a CFE, se notificó que por el momento no era posible realizar un tendido de fibra desde Sonora cruzando el Golfo de California hacia el Puerto San Felipe y considerando la opción de alargar la conexión más próxima dentro del estado de Baja California y hacia Puerto San Felipe era necesaria la construcción de una subestación de CFE, cotizando con la relación que se muestra en la Tabla 1.4

Equipo para Fibra Optica en Subestacion de CFE	\$660,266.24					
	Materiales de instalación	Construcción civil	Diseño	Supervisión	Costo total	
115kV-1C-1km-266 ACSR-PT (URBANO) TERRENO NORMAL	2,830,496.36	1,295,367.89	70,130.08	111,358.67	4,307,353.00	
En caso de ya existir la red						
Costo por conexión con 1 línea	\$11,555.90					

Tabla 1.4 Cotización de tendido de fibra óptica

#### 4.2.4 Enlace Satelital

Esta tecnología trabaja en el rango de frecuencias de microondas ya que básicamente se trata de las mismas señales sólo que en los enlaces satelitales los repetidores para la amplificación de señal se encuentran en una órbita alta y no en torres.

La estructura básica de un enlace satelital está dada por:

- Estación Terrestre Transmisora: Forma el enlace entre el satélite y la red terrestre del sistema y se encarga de enviar la información requerida hacia el satélite.
- Satélite de comunicaciones: Constituye el punto central de la red y está compuesto por diversos subsistemas como se mencionan a continuación:
  - 1.- Estructura o chasis: Provee resistencia mecánica durante el lanzamiento del satélite desde Tierra
  - 2.- Energía eléctrica: Se encarga de proveer energía eléctrica, almacenar energía eléctrica, regulación de la electricidad y se encuentra integrado por paneles solares, baterías, sensores y BCR (Battery Charger).
  - 3.- Control de posición y estabilización: Se encarga de mantener en alguna posición específica o estabilizarlo ya sea por giro, alineándose con el centro de gravedad de la Tierra, o de manera triaxial, con 3 ejes rotacionales.
  - 4.- Control térmico: Se encarga de mantener los subsistemas de un satélite en un rango de temperatura racional ya sea por medio de película reflejante, o con el uso de resistencias y refrigerantes.
  - 5.- Comando y telemetría: Se encarga de conocer el estado en el que se encuentra el satélite y está conformado por un sistema de telecomunicaciones, el cual es el único vínculo entre la estación transmisora terrestre y el mismo satélite, y un sistema de adquisición de datos de algunos sensores de control.
  - 6.- Computadora principal: Coordina las acciones de los subsistemas del satélite y está integrado por microprocesadores, memorias y algunos otros módulos de almacenamiento.
  - 7.- Carga útil: Lleva al espacio lo necesario para realizar la principal función para la que fue diseñado el satélite y se compone de diversos subsistemas que ayudan en la funcionalidad del mismo.

- Estación Terrestre Receptora: Estación que se encarga del análisis de información arrojada por el satélite.

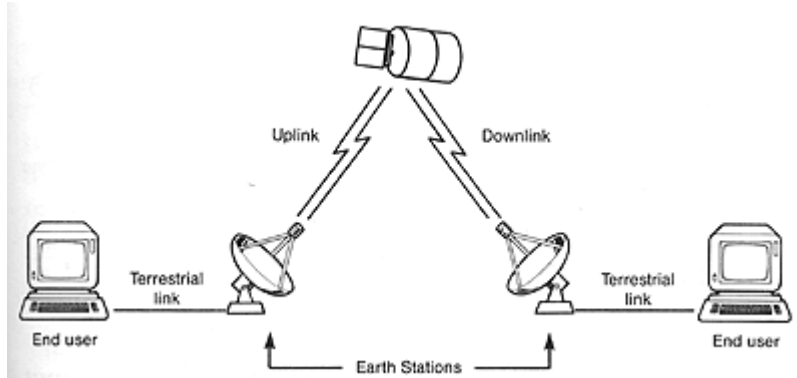


Figura 4.20 Elementos de un enlace satelital

Como se observa en la Figura 4.20, esta tecnología hace uso de dos frecuencias utilizando lo que se define como bandas Uplink, la cual modula a la señal portadora en cierta frecuencia y la transmite desde la estación transmisora terrestre hacia el satélite. Y enlace Downlink, modula a la portadora en una frecuencia distinta y se enlaza al satélite con la estación receptora terrestre. Las bandas más usadas para estos enlaces son las que se mencionan a continuación:

- **Banda C**

En esta banda se transmite el enlace Uplink en alrededor 6GHz y el enlace Downlink en aproximadamente 4GHz, la principal ventaja de utilizar esta banda es que al ser la que trabaja en las frecuencias más bajas posee mayor tolerancia a las condiciones ambientales, mientras que la principal desventaja radica en compartir espectro con sistemas terrestres, lo que provoca que en determinados sitios se tenga un retraso en el establecimiento de comunicación.

- **Banda Ku**

Esta banda transmite su Uplink en alrededor de 14GHz y su Downlink en 11GHz, la principal ventaja en la utilización de esta banda es que esta parte del espectro está destinada sólo para uso satelital, evitando así alguna interferencia con algún sistema terrestre. La principal desventaja radica en que se encuentra bastante cerca de la Banda C lo cual provoca algunas distorsiones en malas condiciones ambientales.

- **Banda Ka**

La banda Ka es utilizada por los satélites modernos actualmente ya que ofrece un amplio rango de frecuencias, su Uplink se encuentra en 30GHz y su Downlink en 20GHz. Éste amplio rango de frecuencias permite un funcionamiento óptimo de los satélites para actividades como telemedicina, tele educación, etc. La principal desventaja radica en que por trabajar en frecuencias bastante altas en presencia de lluvia, ésta puede originar severas distorsiones; afortunadamente existen tecnologías que ayudan en la detección y corrección de errores.

- **Banda L**

Esta banda opera en el rango de 390MHz a 1550MHz dando servicio a redes móviles, aplicaciones marítimas, telemetría, entre otras. Debido a su baja frecuencia de operación suelen ser más resistentes a las condiciones ambientales. [1]

A continuación se enlistan las ventajas y desventajas de la utilización de la tecnología satelital:

**Ventajas**

- Acceso en áreas remotas
- Cobertura en amplias áreas geográficas
- Amplio ancho de banda
- Su funcionamiento no se ve afectado por la topografía terrestre
- Su funcionamiento no se ve afectado por costos provocados por la distancia entre estaciones
- Portabilidad

**Desventajas**

- Inversión inicial alta
- Retraso en la propagación en sistemas GEO
- Interferencia debido al ambiente
- Requerimientos de licencia

Al conocer un poco más acerca de esta tecnología, se contactó con un proveedor de este servicio: Targos, Telemetría y Sistemas SCADA

Lo primero que se hizo fue aclarar con qué frecuencia se necesitaba tener el control del proceso, al hablarlo con el grupo IIDEA se acordó que con un reporte diario, haciendo un promedio de las mediciones cada hora cubría de manera satisfactoria las necesidades de monitoreo de la desaladora.

Considerando la tarjeta de adquisición de datos elegida para el manejo de las variables físicas NI9208, se tiene una resolución de 24 bits. En la Tabla 1.5 se explica de manera detallada el cálculo de la cotización.

Bits por sensor	24
Bytes por sensor	3
Total de bytes por reporte (15 sensores)	45
Total de bytes por reporte diario por hora	1080
Total de bytes al mes	32400
Cuota por mes	43 USD
Cuota por mes MX	543.549 MX

Tabla 1.5 Cotización de enlace satelital

A la renta mensual se le agregan los gastos iniciales, es decir, la compra de las terminales y una cuota de activación, los cuales se muestran en la Tabla 1.6

Concepto	Precio unitario USD	Total USD
Terminales satelitales IDP 680	840	1680
Cuota de activación:		
Gateway	350	350
Estación remota	35	35
	Total USD	2065
	Precio dólar	12.643
	Total MX	26107.795

Tabla 1.6 Cotización de equipo para enlace satelital

Para todo tipo de asesoría con respecto a la instalación o configuración de las terminales y equipo, se propuso contactar con Targos a un costo de 2800 USD.

### 4.3 ELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA EL ENLACE

Al definir los requerimientos para la red de telemetría, fue posible determinar la tecnología a utilizar para el enlace.

Al analizar la tecnología para comunicación por microondas se observó que:

- Los costos de equipo son excesivamente altos.
- La instalación de torres tendrá un costo adicional.
- La problemática de instalación de torres requerirá negociaciones con la población rural, así como permisos en el gobierno del estado de Baja California.
- No existe alguna portabilidad para futuro crecimiento del proyecto hacia Puertecitos o algún otro puerto.

Al analizar la tecnología por fibra óptica se observó que:

- Por tratarse de una zona desértica y deshabitada, el costo de construcción de subestación y demás requerimientos por parte de CFE es bastante elevado.
- Podría considerarse una buena elección en el futuro, ya que el costo por conectar una línea es mucho más económico y como se estudió, esta tecnología ofrece enormes ventajas en comparación con las demás en cuestión de envío de datos.

Al analizar la tecnología para comunicación satelital se observó que:

- El costo de equipo es relativamente bajo ya que sólo se requiere de terminales y un costo extra por activación.
- Se requiere de un contrato y cuota mensual relativamente baja en comparación con una cuota de servicio de telefonía celular todo esto para el envío de datos.
- Este servicio posee movilidad ya que en caso de algún cambio o crecimiento del proyecto, se podría adaptar sólo cambiando de ubicación las terminales y alguna configuración sencilla.

Es claro que la opción más viable resulta la utilización de un enlace satelital.

## 5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se propuso el diseño de un sistema de monitoreo del prototipo del primer efecto de la desaladora térmica MED-LE, para lo cual se requirió un amplio estudio de las posibilidades tecnológicas llegando a las siguientes conclusiones:

- Se adquirieron nuevos conceptos acerca de las tecnologías utilizadas en la desalación de agua tomando en cuenta su fuente de energía y su modo de operación, especializándose en el proceso del primer efecto de la tecnología de desalación MED-LE.
- En la actualidad, la tecnología basada en fibra óptica es considerada una opción viable para prestación de servicios digitales o enlaces; sin embargo, en el campo de la instrumentación se observó que a pesar de contar con amplias ventajas a comparación con otras tecnologías, el costo aún es muy elevado y para la medición de algunas variables físicas aún se encuentran desarrollando estudios de diseño.
- La tecnología de instrumentación que se adecúa más a las necesidades del grupo IIDEA y a la desaladora térmica, es la basada en dispositivos electrónicos ya que cubre con las necesidades de medición de las variables físicas y no requiere de una inversión estrictamente costosa.
- Se aprendió un nuevo lenguaje de programación gráfica, LABVIEW, el cual es un software que proporciona herramientas útiles para el desarrollo de cualquier sistema de control, tanto para la instrumentación, adquisición y análisis de las diversas variables físicas involucradas en el proceso, ya sea de manera simulada o con datos en tiempo real, por lo que se realizó un diseño de interfaz de usuario para la presentación de los datos arrojados por el primer efecto MED-LE.
- El estudio de terreno de manera virtual resulta ser una herramienta de gran utilidad para el cálculo y el análisis de un enlace por medio de radiocomunicaciones, ya que se puede recabar información general como la distancia del enlace, la viabilidad del mismo y hasta la posible ubicación de los repetidores en caso de ser necesarios y el listado de material requerido para dicho enlace.
- La tecnología de enlace que se adapta más a las necesidades del grupo IIDEA y a la ubicación de la desaladora térmica MED-LE tomando en cuenta el estudio de terreno, es el enlace satelital, ya que el costo inicial de inversión de equipo es relativamente bajo comparado con las demás tecnologías. Además cuenta con una importante ventaja en la movilidad, la cual es de vital importancia al requerirse un cambio de ubicación del sistema y a pesar de estar sujeto a un contrato por parte del prestador de servicio, la cuota mensual resulta comparable con la cuota que normalmente se paga al contratar un servicio de telefonía celular.

- Se reforzaron habilidades como la investigación, el análisis y la toma de decisiones aplicables en cualquier campo de trabajo considerando siempre los requerimientos del cliente, en este caso el grupo IIDEA.

## REFERENCIAS

- [1] Goleniewski L., *“Telecommunications Essentials: The Complete Global Source for Communications Fundamentals, Data Networking and the Internet, and Next-generation Networks”*, US, Pearson, 2003.
- [2] Cipollina A., Micale G., Rizzuti L., *“Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Processes”*, Italia, Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [3] Huidobro Moya J., *“Telecomunicaciones. Tecnologías, Redes y Servicios”*, España, Rama, 2010.
- [4] Pallás Areny R., *“Sensores y acondicionadores de señal”*, España, Marcombo, 2003.
- [5] Nava Escudero C., Hiriart Le Bert G., *“Desalación de agua con energías renovables”*, México, UNAM, 2008.
- [6] Salmerón J., *“Análisis y diseño de una desaladora de agua de mar de múltiple efecto con recurso de baja entalpía MED-LE”*, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería UNAM, Ciudad Universitaria, 2012.
- [7] Gleick Peter H., *“The World's Water: 2008-2009”*, Pacific Institute, US, 2009.
- [8] Pozar D., *“Microwave Engineering”*, John Wiley & Sons. Inc, 1998.
- [9] Sklar Bernard ., *“Digital Communications: Fundamentals and Applications”*, Prentice Hall Inc., 2001