

## PROTOCOLO DEL PROYECTO (CI-02/2017)

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Título del proyecto:

Detección y localización de fugas mediante técnicas de aprendizaje automático

### 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

#### 1.1 Resumen

En este trabajo se propone diseñar e implementar algoritmos de diagnóstico de fugas en redes hidráulicas basados en técnicas de aprendizaje profundo y análisis de componentes principales. Para ello se plantea una metodología basada en términos de reconocimiento de patrones y clasificación, y resolverlo utilizando redes neuronales artificiales (RNA) particionando en microregiones, por lo que se tendrá una RNA con múltiples salidas. Para reducir la complejidad de las RNA con múltiples entradas y salidas, se propone optimizar su entrenamiento reduciendo la dimensión de los datos de entrada por medio de un análisis de componentes principales. Los algoritmos desarrollados se implementarán en una red hidráulica piloto que se encuentra ubicada en el laboratorio de hidráulica del posgrado.

Es importante destacar que el proyecto cuenta con la colaboración de investigadores del IT Hermosillo, del Instituto de Ingeniería de la UNAM y la Universidad Politécnica de Cataluña (España) con quienes se planea la producción de artículos científicos de alto impacto que fortalezcan a los investigadores del grupo, su permanencia en el SNI, hacia como acciones de movilidad estudiantil.

#### 1.2 Introducción

La seguridad de las redes de ductos es una preocupación importante de los sectores involucrados en los sistemas de transporte de fluidos, ya sea que se trate de redes de ductos en una planta industrial, de sistemas hidráulicos o de combustible de cualquier localidad, etc. En este contexto, uno de los principales problemas con las redes de ductos es el de las fugas, entendiéndose como fuga a una salida no controlada de fluido en cualquiera de los componentes del sistema de distribución o transporte. Las fugas ocurren con mayor frecuencia en uniones de tubos, codos, roturas de conductos y válvulas (Fuentes et al, 2011). El impacto que las fugas pueden tener en un sistema de ductos dependerá del tipo de fluido que se trate, entre otros, ya sea por su costo y lo que esto impacte en pérdidas económicas o por la peligrosidad del fluido en sí mismo y lo que éste signifique por su impacto ambiental o por el riesgo a las vidas humanas.

En la Ciudad de México, el núcleo urbano que más agua consume en nuestro país, el Sacmex (Sistema de Aguas de la Ciudad de México) reportó a finales del 2016 una pérdida cercana al 41% debido a las fugas (Mendoza, 2016); aún considerando que a determinadas horas del día se cierran algunos tanques y bajan la presión, ya que manteniendo un servicio continuo las 24 horas las fugas alcanzarán el 70%. En los estados del interior de México, las pérdidas por fugas en los sistemas de agua potable alcanza, en promedio, el 36.7%. En este sentido, la detección y localización de fugas en redes de ductos es un problema de interés nacional, ya que debido a las fugas se restringe el derecho al agua, tal como se menciona en resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas; en dicha resolución se menciona además la importancia de que los gobiernos redoblen esfuerzos para satisfacer la necesidad de derecho al agua (ONU, 2010).

Una de las complicaciones de la detección de fugas es que la mayoría de éstas no se encuentran visibles, por lo tanto, es necesario contar con alguna herramienta que permita estimar su localización, así como sus caudales. Si se considera la mecánica de fluidos y demás física del proceso, la información sobre la presencia y localización de las fugas en una red de tuberías debe estar contenida principalmente en la distribución de los valores de presión y de caudal en diversos puntos de la red; sin embargo, esa información está "codificada" de tal manera que su extracción es un problema

complejo de ingeniería inversa. El problema de localización de fugas se complican aún más cuando se tiene un número reducido de sensores y de relaciones estáticas entre variables para determinar las posiciones exactas de las fugas, y más si los flujos no se encuentran en estado permanente, como suele suceder típicamente. En este sentido, la supervisión y el monitoreo automático de ductos es un reto para la ingeniería y su objetivo consiste en localizar tan rápido como sea posible, la presencia de fugas con un mínimo de instrumentación y costo.

Existen soluciones comerciales para el monitoreo de tuberías, aunque sus métodos de detección de fugas están basados en modelos dinámicos complejos, y dependen de la instalación de equipos sofisticados a lo largo de la tubería; por eso el enfoque de esta propuesta es un método basado en el procesamiento de señales para casos con instrumentación limitada. Limitaremos la instrumentación a mediciones de presión y caudal solamente, en puntos estratégicos de la red de ductos, y se utilizarán técnicas de procesamiento digital de señales e inteligencia artificial para obtener una detección y localización fiable de las fugas.

En esta propuesta de investigación se plantea formular la detección y localización de fugas en términos de reconocimiento de patrones y clasificación, y resolverlo utilizando redes neuronales artificiales (RNA). Para ello, se propone particionar el espacio de la red de ductos en microregiones, por lo que se tendrá una RNA con múltiples salidas, dependiendo de la resolución o granularidad deseada en la detección. Debido a la complejidad de las RNA con múltiples entradas y salidas, se propone optimizar su entrenamiento reduciendo la dimensión de los datos de entrada por medio de un análisis de componentes principales. La aplicación del PCA en detección de fugas ya ha sido explorada por R. Hu, Ye, Wang, y Lu (2004) usando un clasificador empírico para reconocer la onda de presión negativa generada por la fuga. En detección de fallas, el PCA también ha mostrado su potencial en procesos de manufactura, en la industria química y, en general, en procesos complejos donde están disponibles muchos datos y se tiene una carencia de modelos analíticos (Verde et al., 2013).

### 1.3 Antecedentes

En la literatura se han desarrollado dos principales enfoques para la detección y localización de fugas: los que se basan en un modelo analítico (físico-matemático) de la red, y los que no dependen de un modelo analítico (Ocampo et al, 2009). Recientemente estos modelos se han extendido con éxito al caso de ductos con perfiles topográficos no uniformes (Torres, 2014). No obstante, la principal desventaja de los algoritmos basados en estos modelos es que no pueden utilizarse si el fluido no opera en condiciones aproximadamente estáticas. Como solución alternativa, en Brunone (2001) formularon una metodología a partir del comportamiento de la onda de presión que se refleja hacia su punto de origen al encontrar una fuga. En estas condiciones, el tiempo de arribo de la onda permite determinar la posición de fuga. En Wang (2002) también estudiaron las características de la onda de presión y reportaron que se atenúa en función de la posición de la fuga.

En esta propuesta de investigación se propone aprovechar los datos de las mediciones de la presión en la unión de las tuberías, el conocimiento de las características de la red y la estimación de las demandas de caudal. En este sentido, se plantea formular la detección y localización de fugas como un problema de tratamiento digital de señales, en términos de reconocimiento de patrones y clasificación de datos, y resolverlo utilizando redes neuronales artificiales (RNA). Las RNA son especialmente usadas en el reconocimiento y clasificación de patrones, en la compresión de imágenes y en el filtrado de señales y en la literatura se encuentran algunos trabajos aplicados a la detección de fugas en tuberías de agua (Aksela, Aksela, y Vahala, 2009; Mounce y Machell, 2006) y en tuberías de petróleo (Avelino et al., 2009). En este caso, el algoritmo para la detección de la fuga parte de la adquisición de señales por medio de sensores de presión; estas señales pasan por una etapa de adecuación, luego por medio de wavelets se realiza la descomposición de las señales y por último mediante la red neuronal se extraen las características y se clasifican los perfiles de fuga. Una limitante en el uso de las redes neuronales con muchas capas de neuronas (arquitecturas profundas) es la dificultad para entrenar las capas iniciales, por lo que recientemente se han propuesto técnicas de pre-entrenamiento no supervisado denominadas aprendizaje profundo (Schmidhuber, 2015). El uso de técnicas de aprendizaje profundo en diagnóstico de fallas ha sido explorado por May et al. (2014).

El análisis en componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés), es una técnica estadística aplicable a sistemas multivariados, que permite la transformación de datos multivariados a un espacio de menor dimensión el cual retiene la información más relevante acerca del proceso. Esta compresión de información favorece el monitoreo de procesos,

como lo muestran Mina y Verde (2004), quienes lo aplicaron a la detección de fallas de un proceso de segundo orden a partir de su respuesta al escalón. R. Hu y et al (2004) exploraron la aplicación del PCA en la detección de fugas usando un clasificador para reconocer la onda de presión negativa, mientras que Gertler, Romera, Puig, y Quevedo (2010) investigaron la aplicación del PCA en la detección de fugas en una red simple usando un simulador de redes hidráulicas y reconocieron la potencialidad de esta técnica, aunque reportaron algunas dificultades para la separación espacial entre los datos en operación normal y los correspondientes a las fugas. La utilización de la combinación PCA-RNA para diagnóstico de fallas ha sido explorado por Q. Hu, Wang, y Zhan (2007), quienes destacan como ventajas la disminución del número de neuronas, con la consiguiente reducción de complejidad en la RNA, y reportaron buenos resultados en la eficiencia y la precisión del diagnóstico. Otra aplicación del uso combinado de PCA y RNA fue reportada por Mahmud, Afroge, Mamun, y Matin (2015), quienes las utilizaron con éxito para reconocimiento de rostros en imágenes.

Este trabajo propone particionar el espacio de la red de ductos en microregiones, por lo que se tendrá una RNA con múltiples salidas, dependiendo de la resolución o granularidad deseada en la detección. Debido a la complejidad de las RNA con múltiples entradas y salidas, se propone optimizar su entrenamiento reduciendo la dimensión de los datos de entrada por medio de un análisis de componentes principales.

Para evaluar la efectividad del método propuesto se cuenta con un laboratorio piloto en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, el cual fue financiado por el Tecnológico Nacional de México. En dicho laboratorio se realizan pruebas experimentales en una red de tuberías de 60 metros. El sistema permite representar algunas condiciones de operación de las redes de agua potable reales (Guzman-Rabasa et al, 2016). En esta instalación se simula el funcionamiento hidráulico de las tuberías de una manera controlada de presiones y gastos para representar condiciones reales, así como validar los algoritmos desarrollados. Al término del proyecto se espera que la aplicación de técnicas de aprendizaje profundo en una red neuronal entrenada con las componentes principales de las señales de presión y caudal permitan la detección efectiva y la localización de fugas en el sistema piloto, formulando éstas como un problema de reconocimiento de patrones y clasificación.

## 1.4 Marco teórico

### MODELO MATEMÁTICO DE UNA RED HIDRÁULICA

En una red hidráulica es común asumir que la distribución de velocidad de flujo de líquido es uniforme, unidimensional, y que las densidades del líquido y área son constantes, la dinámica de un fluido en un ducto cerrado, sin tomas laterales, está gobernado por las ecuaciones de movimiento propuestos por Chaudry (1987):

La ventaja principal de este modelo es que es posible aproximar las derivadas parciales del modelo de Chaudhry por diferencias finitas de primer orden y obtener una versión discretizada y seccionada de la tubería. Se pueden considerar tantas secciones como se deseen, considerando que, al seccionar una tubería, también se incrementa el número de ecuaciones. Como resultado final para cada sección se tiene un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias que representan la variación con respecto al tiempo de los flujos de entrada y salida y presión de entrada y salida para cada sección. Esta es una representación reducida del modelo de Chaudry, sin embargo, es útil para diseñar estrategias de control basadas en modelos matemáticos. Debido a restricciones del formato de captura no se presentan las ecuaciones.

Como puede consultarse en Torres et al (2014), el modelo tradicional de una tubería considera solo ecuaciones diferenciales ordinarias cuya principal característica es la dinámica lenta que presentan con respecto al tiempo. En caso de que ocurra una fuga, estos comportamientos anómalos afectan de forma abrupta la dinámica de la red, lo que se conoce como dinámica rápida; la cual puede verse como una extracción no controlada de líquido en la red. Este comportamiento puede ser modelado por la ecuación de extracción, adicionalmente, la representatividad del modelo puede mejorarse mediante la inclusión de información "real", es decir información proporcionada por un sistema físico capturada mediante un conjunto de sensores distribuidos a lo largo de la planta. En conjunto, el modelo matemático y la fusión de los datos, puede dar como resultado un modelo matemático que represente fielmente al sistema físico.

Nótese que aún el enfoque que se propone es basado en datos, no es posible generar un banco de datos suficientemente

rico que considere un alto número de configuraciones en la tubería, por ejemplo, fugas en diferentes puntos, cambios en la longitud, entre otros. Por lo que un modelo matemático validado del sistema hidráulico coadyuvará a complementar datos del sistema hidráulico para entrenar al sistema de aprendizaje automatizado y diagnosticar un amplio número de fugas, incluyendo fugas múltiples. Otra ventaja de contar con modelo matemático es el de incrementar la aplicabilidad de los algoritmos en su implementación real.

## SUPERVISIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

La supervisión y el monitoreo automático de redes de distribución de líquidos y gases es un reto para la ingeniería debido a las consecuencias catastróficas que pueden desencadenar las tuberías en mal estado, como son la pérdida de vidas humanas y daños ambientales con alto impacto ecológico. Este fenómeno se observa en prácticamente todos los sistemas de distribución de agua y de transporte de combustibles. Sin embargo, el volumen de una fuga puede reducirse significativamente si se detecta su ocurrencia y se determina su ubicación en un tiempo mínimo después de su aparición. Se denomina fuga a una salida de líquido no controlada en cualquiera de los componentes del sistema de distribución o transporte y ocurren con mayor frecuencia en uniones de tubos, codos, roturas de conductos y válvulas (Fuentes, Palma, y Rodríguez, 2011). En la industria del petróleo, las fugas en tuberías también pueden causar daños ambientales, además de las pérdidas económicas. En México, largas cantidades de gases y líquidos son transportadas diariamente en estas tuberías, por ejemplo, gas metano, agua y petróleo.

Estos son factores motivadores, junto con los requerimientos de las autoridades ambientales, para desarrollar sistemas eficientes de detección y localización de fugas. Este trabajo se enfoca a la detección de fugas en sistemas de distribución de agua y para ello se propone un enfoque basado en análisis de datos a través de un sistemas de aprendizaje automático.

## DIAGNÓSTICO DE FUGAS BASADO EN TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO Y ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Muchos problemas de diagnóstico se han abordado usando técnicas de aprendizaje automático, entre las que figuran la lógica difusa y las redes neuronales artificiales (RNA). Estas últimas han resultado especialmente útiles en situaciones que pueden formularse como problemas de reconocimiento de patrones y clasificación, que consisten básicamente en identificar regularidades en las señales (variables) que permiten generar agrupamientos o "clases" para las diferentes condiciones de operación del sistema claramente diferenciadas por el usuario. Por ejemplo, en un sistema de diagnóstico, puede diseñarse un clasificador automático neuronal para identificar las clases de señales que corresponden a fallas o estados de funcionamiento atípicos.

Para aplicaciones en tiempo real, las redes neuronales deben ser entrenadas a partir de conjuntos de datos que previamente han sido seleccionados como representativos de las diferentes clases que aprenderán a reconocer, lo que se conoce por aprendizaje automático o supervisado. Sin embargo, también es posible diseñar redes que aprendan sin supervisión a partir de datos "no etiquetados"; un ejemplo de esto son las redes auto-organizadas (Haykin, 2009). El aprendizaje de una red neuronal consiste básicamente en el ajuste numérico de un conjunto de parámetros llamados pesos, de modo que al excitar la red con una muestra cualesquiera de mediciones ésta sea capaz de identificar la clase a la que corresponde dicha muestra. Las diferentes formas de aprendizaje por redes neuronales y técnicas similares (máquinas de vectores de soporte y redes bayesianas, entre otras) se ha denominado recientemente aprendizaje automático o aprendizaje de máquinas (del inglés Machine Learning).

Existen dos dificultades a considerar al implementar una RNA. Primeramente, la gran cantidad de pesos (parámetros de la red) que deben ajustarse, crece exponencialmente en función del número de variables de entrada, del número de capas y del número de neuronas en cada capa. Adicionalmente, la convergencia en el proceso de ajuste de los pesos puede requerir de muchas épocas o ciclos de entrenamiento. Incluso, en las arquitecturas típicas (feedforward, entrenada por retropropagación de errores), el proceso de entrenamiento tiende a estancarse o presenta una convergencia demasiado lenta en redes de varias capas.

En relación a la primera dificultad, una propuesta para reducir la complejidad de la red neuronal es preprocesar los datos utilizando un análisis en componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés), el cual permite representar las variables del proceso en subespacios de menor dimensión no correlacionados. El PCA parte de una descomposición de los vectores de datos originales en sus direcciones ortogonales (ejes principales), por medio de los eigenvectores o mediante una descomposición en valores singulares (SVD, por sus siglas en inglés); la reducción de datos es posible debido a que se conservan sólo las componentes principales más relevantes (Jolliffe, 2002). En modelos de tiempo discreto, frecuentemente se utiliza una matriz de mediciones extendida con los valores retardados de las variables, para capturar la dinámica del proceso; esta adecuación se conoce como DPCA. En general, las técnicas PCA han mostrado su potencial en procesos complejos donde están disponibles muchos datos y se carece de modelos analíticos (Verde, 2013).

En relación a la segunda dificultad, la convergencia del proceso de entrenamiento en redes multicapa puede mejorarse mediante técnicas de aprendizaje automatizado o aprendizaje profundo. En el aprendizaje profundo se utilizan varias capas de procesamiento no lineal para extraer representaciones útiles de características del proceso a partir de los datos. Los modelos de aprendizaje profundo se entrenan mediante un amplio conjunto de datos etiquetados, y pueden lograr una precisión extrema en la clasificación de objetos, lo que en ocasiones supera al rendimiento humano. La precisión de un modelo de aprendizaje profundo depende en gran medida de la cantidad de datos utilizados para su entrenamiento; los modelos más precisos pueden requerir miles de muestras, y el entrenamiento puede llevar mucho tiempo. El aprendizaje profundo se ha utilizado con éxito en diversos problemas: clasificación de imágenes, reconocimiento de voz, y procesamiento del lenguaje natural, entre otros (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016).

Lo anterior demuestra que utilizar un enfoque combinado RNA/PCA garantiza un sistema de diagnóstico eficiente y mejor manipulación de los datos. Esto debido a las ventajas de reducir las entradas de la RNA mediante la identificación de las componentes principales del sistema, lo cual reducirá además los tiempo de procesamiento y entrenamiento de la RNA y mejorará su desempeño en línea.

### 1.5 Objetivos

Detectar y localizar fugas en ductos utilizando redes neuronales artificiales diseñadas a partir de técnicas de aprendizaje profundo y el uso de análisis de componentes principales para reducir la dimensión de los datos generados por los sensores de presión y caudal, y para optimizar el proceso de aprendizaje supervisado de la red neuronal.

- \* Realizar un análisis estructural del sistema piloto para generar una base de datos de señales de caudal, presión y flujo sujetos a diferentes condiciones iniciales.
- \* Realizar un análisis de los datos para identificar los componentes principales.
- \* Utilizar las componentes principales como entradas de la red neuronal y entrenarla mediante técnicas de aprendizaje profundo para reducir el error de propagación y el número de capas ocultas.
- \* Diseñar algoritmos basados en PCA y RNA para la detección y localización de fugas en el sistema piloto en condiciones de flujo permanente y no permanente.

### 1.6 Metas

PRODUCTOS ENTREGABLES	
Contribución a la Formación de Recursos Humanos	Productividad Académica

<ul style="list-style-type: none"> <li>1 - Tesis concluidas de Licenciatura</li> <li>1 - Tesis en desarrollo de Licenciatura</li> <li>1 - Tesis concluidas de Maestria</li> <li>2 - Tesis en desarrollo de Maestria</li> <li>2 - Tesis en desarrollo de Doctorado</li> <li>4 - Incorporación de alumnos de licenciatura (Servicio Social, créditos Complementarios, etc.)</li> <li>4 - Alumnos residentes participantes en el proyecto</li> <li>0 - Tesis concluidas de Doctorado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 - Artículos científicos enviados en revistas indizadas</li> <li>2 - Artículos en memorias de congreso enviados</li> <li>1 - Memorias en extenso en congresos</li> <li>1 - Paquetes tecnológicos enviados para registro</li> <li>1 - Artículos Científicos publicados en Revistas Indizadas</li> <li>0 - Artículos científicos enviados en revistas arbitradas</li> <li>0 - Artículos de divulgación enviados</li> <li>0 - Capítulos de libros enviados para revisión</li> <li>0 - Libros editados y publicados</li> <li>0 - Libros enviados para revisión</li> <li>0 - Prototipos enviados para registro</li> <li>0 - Patentes enviadas para registro</li> <li>0 - Artículos Científicos publicados en Revistas Arbitradas</li> <li>0 - Patente Registrada</li> <li>0 - Modelo de utilidad</li> </ul>
--	--

### 1.7 Impacto o beneficio en la solución a un problema relacionado con el sector productivo o la generación del conocimiento científico o tecnológico.

El desarrollo de sistemas para detectar fugas en redes hidráulicas es una demanda de la sociedad mexicana, debido a que a diario se pierden miles de litros de agua por fugas no detectadas, lo mismo sucede con pérdidas de crudo en ductos, donde, además, estos desperfectos pueden causar daños catastróficos a la infraestructura, medio ambiente y pérdidas humanas.

Por lo general estos algoritmos se diseñan mediante el uso de software especializado para simulación de modelos matemáticos, dejando la validación de los mismos a nivel puramente teórico. En este proyecto se desarrollará un sistema de detección de fugas aplicado a una tubería real de 60 metros de longitud.

Los resultados fortalecerán las líneas de investigación de automatización de la MCIM y la de Instrumentación y Control del doctorado en Ciencias de la Ingeniería, ambos programas en el PNPC. Además, se espera que los resultados de las investigaciones sean publicadas en revistas científicas indizadas en el JCR, y esto coadyuve a la permanencia de cuatro de los colaboradores y la incorporación de uno más en 2018. Esto fortalecerá el NAB de los posgrados (la MCIM y el DCI) a los cuales se encuentran adscritos los profesores.

### 1.8 Metodología

El proyecto se desarrollará en dos grupos, el primero con estudiantes de licenciatura y maestría dedicado al desarrollo del sistema de instrumentación y al análisis estructural del sistema piloto. El segundo, conformado por los investigadores participantes y un estudiante de doctorado dedicado a la realización de los objetivos propuestos en este proyecto. Para lograr los objetivos, el trabajo se realizará en 5 etapas.

Etapas 1: Contempla un estudio exhaustivo del estado del arte sobre técnicas de análisis de fallas y fugas mediante redes neuronales y análisis de componentes principales. Así como el desarrollo de un simulador programado en Matlab del sistema piloto en donde se realizarán pruebas de los algoritmos desarrollados. Paralelamente, se realizará un análisis estructural del sistema piloto de redes hidráulicas para determinar la posición adecuada de sensores así como la

adquisición de sensores de caudal y presión industriales, las condiciones iniciales de experimentos y el diseño del sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).

Etapa 2: Se enfocará en el desarrollo de un método para detectar fugas mediante técnicas de aprendizaje profundo para reducir el número de capas ocultas y el error de propagación en la red neuronal. Para garantizar la aplicabilidad del método se considerarán diferentes condiciones de operación, perturbaciones y ruido de medición. Igualmente, se procederá con la puesta en marcha del sistema SCADA.

Etapa 3: En esta etapa se procederá con la identificación de las señales de componentes principales, las cuales serán las entradas de la red neuronal y su correspondiente entrenamiento. Se propondrá un método integrado RNA/PCA que permita detectar fugas en el simulador a diferentes condiciones de operación y diferentes condiciones de fugas.

Etapa 4: Se realizarán pruebas experimentales del método propuesto para detectar y localizar fugas, para ello se implementarán los algoritmos en el sistema SCADA y el sistema piloto. Los resultados se validarán mediante métodos estadísticos que garanticen un margen de error mínimo con respecto al aislamiento y localización de la fuga.

Etapa 5: Se procederá a la escritura del reporte final del proyecto, así como su presentación al comité de evaluación del TecNM.

### 1.9 Programa de actividades, calendarización y presupuesto solicitado

No.	Actividad	Entregables	Periodo de realización	Monto solicitado
1	Estudio del estado del arte en sistemas de detección de fugas basados en redes neuronales(RNA). Esta etapa contempla también un estudio exhaustivo de las técnicas de detección de fallas basados en el análisis de componentes principales (PCA)	Reporte sobre estudio del estado del arte y técnicas de detección de fallas basados en PCA y RNA	01 de Septiembre 2017 - 30 de Octubre 2017	\$ 35,000.00
2	Análisis estructural del sistema piloto de redes hidráulicas para determinar la posición adecuada de sensores así como la adquisición de sensores de caudal y presión industriales, las condiciones iniciales de experimentos y el diseño del sistema de supervisión, control y adquisición de datos	Reporte de análisis estructural., Instrumentación del sistema piloto con nuevos sensores de caudal y presión en posiciones estratégicas derivado del análisis estructural	01 de Noviembre 2017 a 16 de Enero de 2017	\$ 150,000.00
3	Desarrollo de un algoritmo para la detección de fugas en la planta piloto basados en técnicas de aprendizaje profundo.	Algoritmo de detección de fugas simulado	10 de Enero 2018 a30 Marzo 2018	\$ 65,000.00
4	Identificación de las señales de componentes principales, las cuales serán las entradas de la red neuronal mediante la instalación de sensores en puntos estratégicos del sistema piloto.	Análisis de la componentes principales del sistema piloto.	30 de Marzo 2018 - 30 Abril de 2018	\$ 45,000.00
5	Desarrollar una nueva metodología que integre RNA/PCA para detectar fugas en el simulador a diferentes condiciones de operación y diferentes condiciones de fugas.	Algoritmo integrado RNA/PCA para detectar fugas en simulación	30 Abril 2018 a 30 Junio 2018	\$ 5,000.00
6	Realizar pruebas experimentales del método propuesto para detectar y localizar fugas en el sistema piloto instrumentado implementando los algoritmos en el sistema SCADA.	Reporte de pruebas experimentales de detección y localización de fugas en el sistema piloto	01 de Julio de 2017 - 15 de Agosto de 2017	\$ 0.00
7	Escritura del reporte final en los formatos oficiales del TecNM	Reporte final del proyecto	15 de Agosto 2017 - 31 Agosto 2017	\$ 0.00

### 1.10 Vinculación con el Sector Productivo

El proyecto está inicialmente vinculado con Instituto Tecnológico de Hermosillo, con quienes se tiene un programa de doctorado en la modalidad multisede. Así mismo, está vinculado con el Instituto de Ingeniería de la UNAM, quienes tienen amplia experiencia en el diseño de sistemas de detección y localización de fugas en redes hidráulicas mediante métodos basados en modelos.

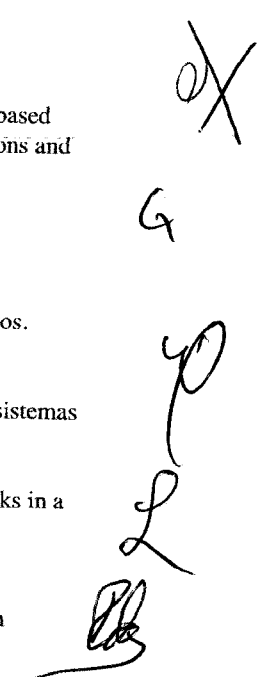
Adicionalmente, se incorporará un estudiante de doctorado en colaboración con la universidad Politécnica de Cataluña, bajo la modalidad de doble titulación, con lo que se buscan acciones de movilidad estudiantil y colaboración internacional.

En una segunda etapa, la cual no se contempla en este proyecto, se espera colaborar con el sistema municipal de agua potable de Tuxtla Gutiérrez para corroborar el desempeño de los algoritmos propuestos en ambientes más realistas. Esta colaboración no está contemplada en una primer etapa debido a que se requieren de sensores móviles más eficientes y de elevado costo.

### 1.11 Referencias

- Aksela, K., Aksela, M., y Vahala, R. (2009). Leakage detection in a real distribution network using a SOM. *Urban Water Journal*, 6(4), 279–289.
- Brunone, B. y Ferrante, M., 2001. Detecting leaks in pressurised pipes by means of transients. *Journal of hydraulic research*, 39(5):539–547.
- Fuentes, O. A., Palma, A., y Rodríguez, K. (2011). Estimación y localización de fugas en una red de tuberías de agua potable usando algoritmos genéticos. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(2), 235–242.
- Gertler, J., Romera, J., Puig, V., y Quevedo, J. (2010). Leak detection and isolation in water distribution networks using principal component analysis and structured residuals. En *2010 Conference on Control and Fault-Tolerant Systems (SysTol)* (pp. 191–196)
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning (adaptive computation and machine learning series). *Adaptive Computation and Machine Learning series*, 800.
- Guillén, M., Dulhoste, J. F., Santos, R., y Besançon, G. (2015). Modeling flow in pipes to detect and locate leaks using a state observer approach. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 38(1), 12–19.
- Guzman-Rabasa, J. A., Bermudez-Hernández, R., López-Estrada, F. R., Torres, L., Valencia-Palomo, (2016). Sistema de diagnóstico de fallas para una tubería basado en observadores de estado quasi-LPV. *Congreso Nacional de Control Automático, Queretaro, México*.
- Haykin, S. (2009). *Neural networks and learning machines* (Vol. 3). Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson.
- Hu, Q., Wang, R., y Zhan, Y. (2007, September). Research of Fault Diagnosis Distinguishing Technology Based on PCA-Neural Network. En *2nd International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC)* (pp. 529–529).
- Hu, J., Wen, C., Li, P., y Wang, C. (2014, July). Multi-space PCA with its application in fault diagnosis. En *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference* (pp. 3311–3316).



- Hu, R., Ye, H., Wang, G., y Lu, C. (2004, December). Leak detection in pipelines based on PCA. En 8th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV) (Vol. 3, pp. 1985–1989). Kunming, China
- Jolliffe, I. (2002). Principal component analysis. John Wiley & Sons, Ltd.
- Mahmud, F., Afroge, S., Mamun, M. A., y Matin, A. (2015, Dec). PCA and back-propagation neural network based face recognition system. 18th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT).
- Mendoza, D. (2016, Noviembre). Registran casi 40 mil fugas de agua en la CDMX. Diario de México. Descargado de <http://www.diariodemexico.com.mx/registran-casi-40-mil-fugas-agua-la-cdmx>.
- Mina, J., y Verde, C. (2004, octubre). Detección de fallas usando análisis de componentes principales. En Congreso anual de la AMCA (pp. 431–436). México, D.F
- Misiunas, D., Vítkovský, J., Olsson, G., Simpson, A. R., y Lambert, M. F. (2005). Pipeline break detection using pressure transient monitoring.
- Mounce, S. R., y Machell, J. (2006). Burst detection using hydraulic data from water distribution systems with artificial neural networks. *Urban Water Journal*, 3(1), 21–31.
- Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(4), 316–325.
- Ocampo-Martinez, C., Puig, V., Cembrano, G., Creus, R., & Minoves, M. (2009). Improving water management efficiency by using optimization-based control strategies: the Barcelona case study. *Water science and technology*, 9(5), 565–575.
- ONU-Hábitat, O. M. S. (2010). El derecho al agua. Folleto Informativo, (35), 7–8.
- Tian, C. H., Yan, J. C., Huang, J., Wang, Y., Kim, D. S., y Yi, T. (2012, July). Negative pressure wave based pipeline Leak Detection: Challenges and algorithms. *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)* (pp.372–376).
- Schmidhuber, J. (2015, January). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85–117.
- Torres, L., Verde, C., Carrera, R., & Cayetano, R., (2014). Algoritmos de diagnóstico para fallas en ductos. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(4), 57–78.
- Verde, C., Gentil, S., y Morales-Menéndez, R. (2013). Monitoreo y diagnóstico automático de fallas en sistemas dinámicos. *Trillas*.
- Verde, C., y Visairo, N. (2001, September). Bank of nonlinear observers for the detection of multiple leaks in a pipeline. En *Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications*. (CCA'01) (pp. 714–719)
- Wang, X. J., Lambert, M. F., Simpson, A. R., Liggett, J. A., & Vítkovský, J. P., (2002). Leak detection in pipelines using the damping of fluid transients *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(7), 697–711.
- 

## 2. LUGAR(ES) EN DONDE SE VA A DESARROLLAR EL PROYECTO

El proyecto se desarrollará en las instalaciones del IT de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) ubicado en Carretera Panamericana km 1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En particular, los experimentos se montaran en el sistema piloto para la detección de fugas hidráulicas ubicada en el laboratorio de hidráulica de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica.

## 3. INFRAESTRUCTURA

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez cuenta con un laboratorio dedicado a la línea de investigación del cuerpo académico de Automatización y Control, así como equipo especializado tales como: fuentes de voltaje y corriente, osciloscopios digitales, sistema para medir empuje de motores brushless, equipo de cómputo dedicado.

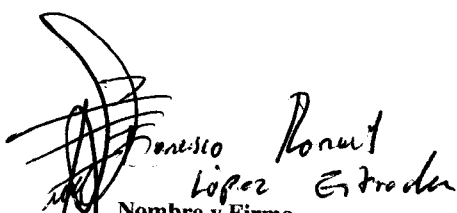
Además cuenta con un sistema piloto para la detección de fugas hidráulicas. El sistema de detección y localización de fugas en ductos cuenta con los elementos siguientes accesorios:

1. Depósito bioplás de 2500l de capacidad, 1.20m de altura y 1.10m de ancho.
2. Bomba rotodinámica «Evans» de 5Hp.
3. Tubería de PVC cédula 80, con diametro de succión de 3 pulgadas y descarga es de 2 pulgadas.
4. Válvulas de compuerta para simular fugas (5), conectadas a mangueras de retorno al depósito.
5. Sensores industriales de caudal (GF Signet 2537 medidor de flujo de paletas), uno ubicado al inicio de la descarga y el otro a la salida del ducto.
6. Sensores industriales de Presión EJA-E Yokogawa, uno ubicado al inicio de la descarga y el otro a la salida de la tubería.
7. Adquisición de datos utilizando una tarjeta NI (National Instrument) 6001 USB.
8. Variador de frecuencia para la bomba Micromaster 420.
9. Computadora portátil.

Se tiene acceso a bases de datos a través del CONRICYT habilitado por el CONACYT, tales como: EBSCO HOST Paquete completo, ELSEVIER, Science Direct Freedom collection, AMS American Mathematical Society (AMS), EMERALD Colección multidisciplinaria de 188 títulos más la colección de ingeniería (19 títulos), GALE Cengage Learning, paquete Unique IEEE/IET Electronic Library (IEL, THOMSON REUTERS / JCR.

Se cuenta con licencia Institucionales de MATLAB y MAPLE para el diseño de los algoritmos de control. LABVIEW para el diseño de la interfaz de monitoreo en línea y SolidWorks para el diseño de la red hidráulica.

Profesor-Investigador Responsable



Nombre y Firma

Se deberá proporcionar el informe final, en donde se incluya el cumplimiento de las metas comprometidas en función de los productos entregables. El cual será un criterio de evaluación para apoyos posteriores.