

# Diseño y Construcción de Reactor Prototipo para Eliminación de Peróxido de Hidrógeno.

J.M. Martínez-Burrola<sup>1\*</sup>, A. J. Cordero-Escamilla<sup>1</sup>

**Resumen**— El peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) es de gran interés industrial debido que no es fácil removerlo de los efluentes residuales. En este trabajo se utilizó la reacción de Fenton, la cual usa hierro (II) como agente catalizador y material de sacrificio para poder descomponer el peróxido de Hidrógeno en Agua y oxígeno. Se diseñó y construyó un reactor prototipo de pvc de 0.025 m  $\theta$  x 1 m de longitud con malla de hierro oxidada, carbón activado y una serie de filtros (25  $\mu$ m y 1.6  $\mu$ m) para eliminar la presencia del peróxido de hidrógeno y darle una filtración adecuada. El reactor tubular fue capaz de eliminar la presencia de peróxido de hidrógeno (2000 a 0 ppm) con un flujo óptimo de 0.27 mL/min durante los primeros 20 min del proceso, así como eliminar por filtración, el residuo de la reacción (óxido de hierro). El agua resultante del reactor cumplió con los parámetros de calidad según la normatividad mexicana para agua potable (Hierro total  $\leq 0.2$  ppm, pH= 7.5 y Turbiedad=0.2 NTU) lo cual demuestra la capacidad de tratamiento de agua. Este reactor prototipo con algunas modificaciones podría ser utilizado para reciclar agua de efluentes industriales a ciertas condiciones de trabajo.

**Palabras claves**—Peróxido de Hidrógeno, Reactor tubular, Tratamiento de agua.

**Abstract**— Hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) is one of most chemical products on water industry effluents that is not easier to remove. This work used Fenton's Reaction which use Iron (II) as sacrificed material and catalyzer toward decomposition of Hydrogen peroxide to oxygen and water. It was designed and constructed one prototype reactor in PVC material with 0.025 m  $\theta$  x 1 m length containing rusty iron mesh, activated carbon and two glass filters (25  $\mu$ m y 1.6  $\mu$ m) to eliminate hydrogen peroxide concentration and obtain filtered water. This tubular reactor was able to eliminate  $H_2O_2$  concentration from 2000 to 0 ppm (100 %) at 0.27 mL/min into first 20 minutes of process, also retain the Iron oxide with the filters. Water resulting from prototype reactor satisfy with Mexican Normativity for Human Water consumption (Total Iron  $\leq 0.2$  ppm, pH=7.5 and Turbidity = 0.2 NTU) which shows water treatment capacity. This prototype with some modifications can be used to reuse industrial effluents.

**Keywords**— Hydrogen Peroxide, Tubular Reactor, Water Treatment.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es el más precioso componente de la tierra y más del 70 % de la superficie está cubierta por ella, aproximadamente  $1.36 \times 10^9$  km<sup>3</sup>. El agua es usada como solvente para los nutrientes que absorben las plantas, animales y humanos, además usada para propósitos de higiene, recreación e incluso religiosos. El cuidado, uso y/o recirculación del agua es imprescindible sobre todo por el aumento de la población mundial [1]. Este aumento desmesurado de población demanda una creciente cantidad de alimentos para cumplir las necesidades de vida. Para ello se producen cada vez más productos que de Latinoamérica México tiene el tercer lugar en producción de azúcar, frijol, sorgo y maíz [2]. Por otra parte la industria de alimentos procesados en México es altamente competitiva y en la misma participan empresas con grandes recursos de capital, personal, investigación y desarrollo como son Ades, Del Monte, Del Valle, Jumex, La Costeña, entre otras [3]. Estas empresas tienen como objetivo el producir alimentos altamente durables en anaquel, por lo que utilizan el proceso de envasado a ultrapasteurización mediante los equipos Tetrapak®.

El proceso de envasado por Tetrapak utiliza un empaque de cartón con láminas de plástico entre otros materiales que le dan la rigidez y maniobrabilidad al empaque para el óptimo envasado de jugos, néctares, lácteos y purés, etc. Antes del envasado del alimento se requiere ser tratado mediante vapor de agua y peróxido de hidrógeno, éste último para lograr la esterilidad del empaque [4].

El peróxido de hidrógeno (PH), también conocido como agua oxigenada, es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua y es reconocido por su alta capacidad de oxidación. Dadas las altas concentraciones del uso de PH (35%) en este tipo de procesos asépticos, el agua resultante de este proceso se desecha al

<sup>1\*</sup> [Juanmanuel.martinezb@hotmail.com](mailto:Juanmanuel.martinezb@hotmail.com). Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico # 1555. Col. Periférico. Cd. Lerdo, Dgo. C.P. 35150. (+52)01-871-7252371 ext. 150.

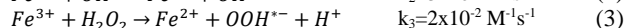
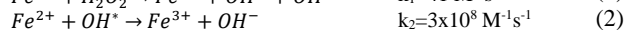
desagüe, lo que en volumen representa un alto consumo de agua para envasar alimentos.

Para la minimización de los impactos causados en los recursos hídricos por las industrias, en los últimos años se han implementado los procesos de oxidación avanzada (POA) como una alternativa tecnológicamente viable y novedosa para el tratamiento de los efluentes líquidos de dichas empresas. Los POA consisten básicamente en la formación de radicales hidroxilo altamente oxidantes, los cuales contribuyen a la mineralización total de los compuestos contaminantes presentes en los efluentes industriales, mencionando solamente agua residual. Entre los procesos más utilizados se encuentra la fotocatalisis que consiste en la aceleración de una foto reacción mediante un catalizador. [5].

El PH es muy inestable y por ello se descompone lentamente en oxígeno y agua con liberación de gran cantidad de calor. Su velocidad de descomposición puede aumentar con la presencia de catalizadores como los iones  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$  [6]. La descomposición del peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ha sido durante mucho tiempo un tema de interés, sobre todo porque el  $\text{H}_2\text{O}_2$  se ha utilizado como una fuente de radicales hidroxilo, altamente eficiente como un oxidante en la degradación de contaminantes orgánicos del agua [7].

Paradójicamente, el  $\text{H}_2\text{O}_2$  es un oxidante amigable desde su descomposición, conduce a la formación de  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{O}_2$ . Especies de hierro, incluyendo los iones de hierro y óxidos de hierro, han sido utilizadas ampliamente para la descomposición catalítica de  $\text{H}_2\text{O}_2$  en los sistemas homogéneos y heterogéneos [8].

La reacción de Fenton es reconocida como una de las más clásicas y más poderosas reacciones de oxidación en aguas. Esta reacción se realiza sin la presencia de radiación ultravioleta; ya que recientemente se ha demostrado que el poder oxidante de la reacción de Fenton puede ser incrementado significativamente empleando radiación ultravioleta o ultravioleta/visible (reacción de fotoFenton). El principal objetivo de la reacción de Fenton es la formación de radicales hidroxilo ( $\text{OH}^*$ ) (1). La reacción de Fenton involucra dos componentes, una especie química catalítica o un inductor fotocatalítico (UV) y un oxidante químico. El catalizador puede ser  $\text{Fe(II)}$  o  $\text{Fe(III)}$  y el agente oxidante comúnmente usado es peróxido de hidrógeno. Las siguientes especies químicas son producidas en la reacción del ion ferroso con peróxido de hidrógeno [9]-[10].



El radical hidroxilo es la especie oxidante primaria formada por la descomposición del PH catalizada por  $\text{Fe}^{+2}$  en ausencia de agentes quelantes del ion ferroso. El radical libre hidroxilo es el segundo agente oxidante después del flúor ( $\text{HO}\cdot$ ,  $E_0=-2.8\text{V}$  frente a flúor,  $E_0=-3.0\text{V}$ ), y es capaz de realizar oxidaciones no específicas de algunos compuestos orgánicos.

Los estudios anteriores [1], [9], [10] - [11] se enfocaron en usar solamente la descomposición del PH mediante la reacción de Fenton para eliminar compuestos orgánicos en el tratamiento de agua residual.

En la literatura y en el mercado no existen datos sobre procesos o mecanismos que permitan la eliminación del PH en sus efluentes y su posible reutilización, por lo cual el objetivo de este artículo fue diseñar y construir un reactor prototipo que elimina la presencia de Peróxido de Hidrógeno en agua para su reuso.

## II. METODOLOGÍA

### A. Pruebas preliminares.

Los experimentos preliminares fueron realizados en el Laboratorio de ambiental del ITSL. Los reactivos usados en este estudio incluyendo  $\text{HNO}_3$  (99% Analytyka),  $\text{KMnO}_4$  (99% Analytyka),  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (98%, Mallincrodt), fueron grado reactivo mientras que el  $\text{H}_2\text{O}_2$  (35% v/v, Colloids de México) se usó grado alimenticio. Además se usó un kit para determinación de hierro soluble y total (K-6010 CHEmets, 0.1-10 ppm Fe). La técnica de permanganimetría ( $\text{KMnO}_4$  0.05 M) fue usada para la determinación de  $\text{H}_2\text{O}_2$  como la reporta Peróxidos do Brasil, Ltda, con algunas modificaciones. El pH fue medido con un potenciómetro Conductronic mod. pH10, mientras que el turbidímetro usado fue marca Pasco mod. 2211.

Se realizaron pruebas para determinar qué material fuese óptimo al reaccionar con el PH de manera inmediata, ya que existe evidencia de que el cobre, zinc y otros metales en contacto con el PH lo degradan en tiempos altos [11]. Se determinó usar el hierro en visible oxidación, el cual resultó ser el material óptimo para la descomposición del  $\text{H}_2\text{O}_2$  mediante la antes

mencionada Reacción de Fenton. Para estas pruebas se cortó alambre oxidado ambientalmente encontrado en los alrededores del Laboratorio a un tamaño de 5 mm de largo hasta reunir una cantidad de 500 gramos, los cuales fueron colocados dentro de un embudo de vidrio de 500 mL y al fondo se colocó un tapón de fibra de vidrio para retener los sólidos como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Embudo empacado con alambre.

100 mL de Agua con 2000 ppm de PH fueron agregados en el embudo durante 1 minuto y se colectaron en un vaso. Al paso de la solución por el material, se observó la generación de burbujas resultado de la reacción. El agua resultante tuvo una coloración marrón y con presencia de algunos sedimentos del hierro por lo que se filtró mediante un papel filtro de 25  $\mu\text{m}$  como se observa en la figura 2; sin embargo no se retuvo por completo el color, por lo cual se optó por un segundo filtro de fibra de vidrio de menor tamaño de poro (1.6  $\mu\text{m}$ ).

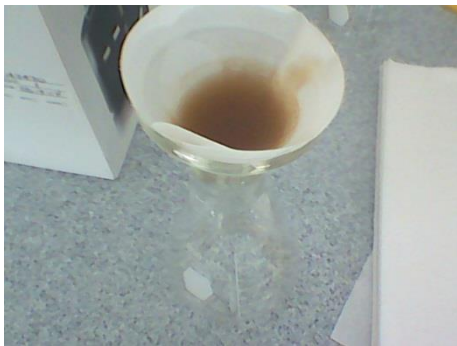


Figura 2. Filtro de 25  $\mu\text{m}$ .

La Figura 3 se muestra la segunda filtración obteniendo agua cristalina, de esta manera se procedió al diseño de un reactor donde se pudieran integrar los componentes anteriores.



Figura 3. Filtro de 1.6  $\mu\text{m}$ .

#### B.- Diseño del reactor.

Las pruebas preliminares fueron referencia para el diseño del reactor, sin embargo se necesitó de otro material que pudiera ser análogo al alambre troceado ya que entre ellos se tiene muchos espacios libres y no tiene contacto suficiente. Para lograr una máxima eficiencia se fabricaron rollos de malla mosquitera (Figura 4) de 1" de diámetro x 4" de largo (derecha) ya que permitió una mayor área de contacto con el PH por tener espacios reducidos entre el material.



Figura 4. Malla mosquitera enrollada.

Luego se procedió a oxidarla intencionalmente con  $\text{HNO}_3$  por inmersión de varios segundos hasta observar el cambio de color marrón de la malla (Figura 5). Se enjuagó la malla hasta que el pH estuviese neutro ( $\text{pH}=7$ ) y no presentara ciertos sedimentos de la reacción anterior, además que saliera el agua cristalina.



Figura 5. Malla en solución de HNO<sub>3</sub>.

En la Figura 6. se muestra esquemáticamente el diseño del reactor tubular. Se utilizó un tubo de PVC (Cloruro de polivinilo) cédula 80 de 1” x 1 m de longitud. Este material es resistente al contacto oxidante del PH, aunado al menor costo y facilidad de fabricación comparado a usar material de acero inoxidable. Luego se colocaron 9 piezas de la malla oxidada (1” x 4”) en el interior del tubo. Por el otro extremo se relleno con 20 gramos de carbón activado granular para tener una cama de filtración de 10 cm dentro del tubo reactor; a los extremos se colocaron conectores de PVC de 1” para verter el agua y al final, soportar el medio filtrante (carbón activado y serie de filtros de fibra de vidrio)

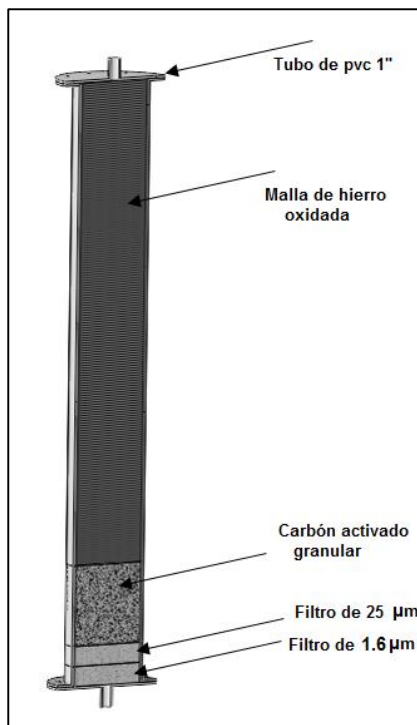


Figura 6. Diagrama esquemático de reactor

Finalmente se colocaron dos tipos de filtros en la parte restante; se usaron filtros de fibra de vidrio de 25  $\mu\text{m}$  y 1.6  $\mu\text{m}$  respectivamente en el fondo del reactor. Estos últimos componentes fueron dispuestos para obtener el agua limpia y purificada por el carbón activado.

Lo siguiente consistió en preparar solución madre de PH a 2000 ppm y hacerla pasar por el reactor a diferentes flujos, como se muestra en la Tabla 1.

C.- Pruebas del reactor.

TABLA 1.

PRUEBAS REALIZADAS EN EL REACTOR

Prueba	Concentración de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Flujo
1	2000 ppm	0.15 mL/s
2	2000 ppm	0.27 mL/s
3	2000 ppm	0.56 mL/s

Los parámetros fisicoquímicos para cuantificar el proceso del reactor fueron enlistados en la Tabla 2.

TABLA 2.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Parámetro	Unidad
Hierro total	Ppm
Peróxido de Hidrógeno	ppm
pH	-
Turbiedad	NTU

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las pruebas preliminares se usaron distintos materiales como plásticos de polipropileno, propileno de alta densidad, metales como cobre lijado, láminas de zinc y tornillos de acero inoxidable en contacto directo con PH al 30% observando una nula efervescencia, lo que indica que no son atacados químicamente. El uso de tuercas y tornillos de hierro, así como alambres oxidados fueron los que de inmediato mostraron una reactividad con el PH logrando incluso elevar la temperatura del envase donde se colocaron, ya que efectivamente la liberación de O<sub>2</sub> provee una alta liberación de energía que provoca a su vez la evaporación del agua. Por lo tanto este material fue el indicado para usarlo como material de sacrificio en la descomposición del PH.

La Tabla 3 muestra la degradación que se cuantificó al usar el embudo de separación empacado con alambre de hierro oxidado; el comportamiento no fue el esperado ya que no se tuvo una degradación lineal. No obstante se logró comprobar que al poner en contacto el hierro oxidado con la solución de PH, su degradación tiene que ver con el tiempo de reacción, pero al final se elimina por completo.

TABLA 3.

RESULTADOS DEL USO DE EMBUDO DE SEPARACIÓN CON ALAMBRE OXIDADO.

Tiempo (min)	Concentración de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ppm)
0	2000
2	1850
4	1600
6	800
8	350
10	100
20	0

Una vez que se eliminó el PH de la solución madre, se procedió a filtrar el residuo, ya que presentó un color demasiado evidente de la presencia de hierro. Al filtrado de 25 µm se obtuvieron 175 ppm de hierro total, mientras que al usar el segundo resultó una lectura menor a 0.2 ppm, por lo que aún con la presencia mínima de hierro, cumple con los parámetros de calidad (NOM-127-SSA1-1994) para el tratamiento de agua potable.

En base a estos antecedentes, se sometió el reactor construido en PVC y los resultados se muestran en la siguiente Figura 7, donde el comportamiento es parecido en los tres análisis. Existe una tendencia a reducir el PH en los primeros 4 minutos de contacto, pero a partir del minuto 5 el agua prácticamente sale sin presencia del agente oxidante inicial. Como se puede observar, a mayor flujo de trabajo, el sistema tiende a reducir en mayor tiempo el PH.

Al comparar los flujos de trabajo, el adecuado para un proceso es el de 0.27 mL/ por minuto, ya que al tomar de base 1 hora, el reactor procesaría 1 litro por hora de PH, siendo casi el doble (55%) del flujo que a 0.15 mL/min.

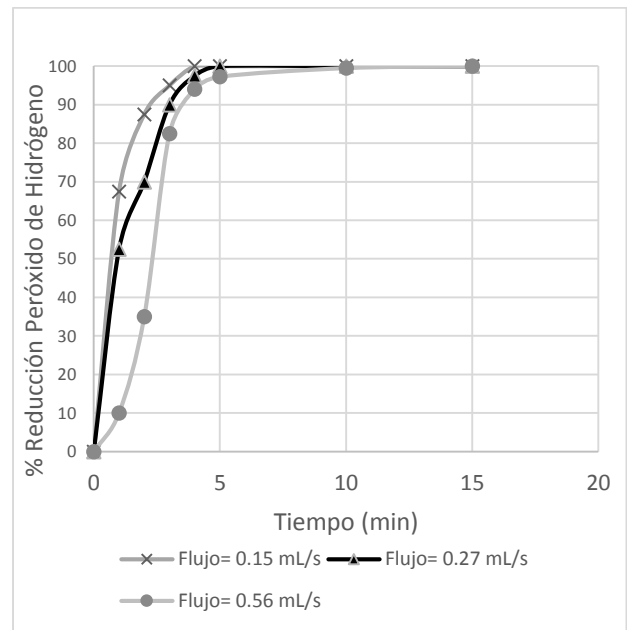


Figura 7. Degradación del peróxido de Hidrógeno en reactor tubular

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos del reactor tubular en los primeros 20 minutos del proceso. Las bajas concentraciones de hierro total y turbiedad son indicadoras que el sistema de filtración compuesto por el carbón activado y la cama de filtros de mayor a menor micraje son los adecuados para poder obtener agua cristalina y libre de la presencia de la reacción en el reactor.

TABLA 4  
PARÁMETROS DE CALIDAD

Tiempo (min)	Hierro total (ppm)	pH	Turbiedad (NTU)
0	≤0.2ppm	7.8	0.3
2	≤0.2ppm	7.8	0.3
4	≤0.2ppm	7.5	0.3
6	≤0.2ppm	7.5	0.3
8	≤0.2ppm	7.5	0.2
10	≤0.2ppm	7.5	0.2
20	≤0.2ppm	7.4	0.2

A pesar de contar con un proceso adecuado para eliminar el PH, se tiene limitaciones como es la temperatura de trabajo, ya que al aumentar las concentraciones del peróxido, aumentará así mismo la temperatura dentro del reactor y al generar vapor se podría sobrecalentar el mismo y podría dañar el material de PVC. Por otra parte, al uso constante del reactor, a flujos aproximados a los 50 litros, el material disuelto dentro del reactor obstruirá la cama de filtros haciendo menos

eficiente el paso de agua, por lo que se podría requerir presurizar el sistema, o bien, reemplazar continuamente los filtros.

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la Reacción de Fenton es viable para un proceso donde se requiere reducir o eliminar la presencia de Peróxido de Hidrógeno de efluentes de agua, siempre y cuando el agua a tratar tenga condiciones similares a las propuestas en este trabajo, o bien tener un proceso de filtración para retirar objetos o compuestos orgánicos antes de utilizarlos en un reactor como el diseñado aquí. Lo más importante además de lograr eliminar 2000 ppm de PH, el agua sale filtrada del reactor prototipo cumpliendo con algunos de los parámetros (Hierro total, pH y Turbiedad) que se requieren para ser considerada agua potable, por lo que modificaciones futuras a este tipo de reactor podría ser utilizado como complemento para tratar agua industrial que contenga como residual Peróxido de Hidrógeno.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por el apoyo incondicional para llevar a cabo este proyecto.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Crittenden, J.C., Hand, D.W., Tchobanoglous, G., Trussel R. R. (2005). Water Treatment: Principles and Design. Wiley and sons, New York, USA.
- [2] Sagarpa. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>
- [3] AMEE, Asociación Mexicana de Envase y Embalaje. Disponible en: [www.amee.org.mx](http://www.amee.org.mx)
- [4] Tetrapak. Disponible en: <http://www.tetrapak.com/mx/packaging/aseptic-solutions>
- [5] Garcés, Giraldo. L. F. (2004) La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación. Volumen 1. No. 1: 83-92.
- [6] Isbell, H.S., Parks, E y Naves, R. G. (1975). The Carbohydrate Research 45: 1975.
- [7] Castro, C.S., Oliveira, L. C. A. Guerreiro, M. C. (2009). Effect of Hydrogen Treatment on the catalytic activity of iron oxide based materials dispersed over activated carbon: Investigations toward Hydrogen Peroxide Decomposition.
- [8] Sirtori, C. (2010) "Evaluación analítica de procesos de transformación biológica, fotoquímica, y fotocatalítica de fármacos en agua" Departamento de Hidrogeología y Química Analítica. Universidad de Almería.
- [9] Sawyer, D. (1997). Metal [Fe (II), Cu(II), Co (II), Mn (III)]/hydro peroxide induced activation of

dioxygen(=O2=) for the ketonization of hydrocarbons: Oxygenated Fenton Chemistry. Coordination Chemistry Reviews, 165:297- 313.

- [10] Walling, C. (1975). Fenton's reagent revisited. Acc. Chem. Res., 8:125.
- [11] Buljubasich, L., Blümich, B., Stapf, S. (2008) Investigations of the heterogeneous Catalytic Decomposition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. American Institute of Physics 978-79.

#### VII. BIOGRAFÍA



##### **Martínez Burrola, Juan Manuel.**

Nació el 12 de Noviembre de 1985 en Matehuala, San Luis Potosí, Mex. Obtuvo el título de Ingeniero Químico en Alimentos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, en la Cd. de Chihuahua, en Junio de 2009. Posteriormente concluyó sus estudios de posgrado en la Especialidad de Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL), en cd. Lerdo, Dgo., en Febrero de 2016.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en el ITSL en la División de Ambiental, donde su principal responsabilidad es el Laboratorio de Ambiental. Además colabora activamente en el Departamento de Investigación y Desarrollo del ITSL en proyectos ambiciosos de distintas áreas como la mecánica, electrónica y tratamiento de agua.

El Ing. Martínez ha publicado el artículo: "Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of Mexican peppers" para la revista arbitrada Food Chemistry, Volume 119, Issue 4, 15 April 2010, Pages 1619-1625. Ha participado en diferentes congresos exponiendo los trabajos de I+D del ITSL.



##### **Cordero Escamilla Armando José.**

Nació el 14 de Julio de 1975 en San Luis Potosí, Mex Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico en el Instituto Tecnológico de Durango en 1998. Posteriormente logró la Maestría en Ingeniería con especialidad en Sistemas de Calidad, en 2008. Ha cursado diplomados en Gestión de Tecnología, Habilidades Gerenciales y Sistemas Fotovoltaicos.

Actualmente se desempeña como Profesor de Carrera de Enseñanza Superior Titular A, impartiendo clases en las carreras de Ingeniería Electromecánica, Electrónica y Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en el estado de Durango. También colabora en el área de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la misma Institución, al participar en proyectos vinculados con empresas de la región y Centros de investigación nacionales. Las áreas de interés son: térmica, hidráulica, energías renovables y procesos industriales, entre otras.

El M.I. Cordero recibió el Premio Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación Durango 2012 en el área de Desarrollo Industrial, por parte del Gobierno del Estado.