

## Caracterización de Jales Mineros y Evaluación de su Peligrosidad con Base en su Potencial de Lixiviación

Investigación

Alejandro Medel Reyes<sup>1</sup>, Samanta Ramos Gomez<sup>2</sup>, Francisco Javier Avelar González<sup>2</sup>, Luis Arturo Godínez Mora Tovar<sup>1</sup>, Francisco Rodríguez Valadez<sup>1\*</sup>

1 Subdirección de Investigación, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S. C., Parque Tecnológico Querétaro-Sanfandila, C. P. 76730, Pedro Escobedo, Querétaro. Tel. (442) 2116072, Fax. (442) 2116001, \*e-mail: frodriguez@cideteq.mx

2 Departamento de Fisiología y Toxicología, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad No 940 CP 20100, Aguascalientes, Ags.

### Resumen

Se realizó una caracterización de un jal histórico y uno reciente obtenidos en el distrito minero de Guanajuato. Los análisis por ICP y AAS mostraron cantidades importantes de metales presentes en el siguiente orden de concentración: 12,185 mg/kg de Fe, 509 mg/kg de Mn, 53 mg/kg de Zn, 20 mg/kg de Pb y 8 mg/Kg de Cr en el jal reciente y 11,676 mg/kg de Fe, 862 mg/kg de Mn, 53 mg/kg de Zn, 17 mg/kg de Pb y 12 mg/Kg de Cr en el jal histórico. Los análisis mineralógicos mostraron que los jales están constituidos mayoritariamente por cuarzo, calcita, covelita y, en menor proporción magnetita, fierro y zinc; además, muestran una ausencia total de materia orgánica y valores de pH que van de neutros a alcalinos. Las pruebas de lixiviación indican que ninguno de los metales presentes puede lixiviar en porcentajes mayores al 0.4% por lo que no representan un riesgo ambiental en base a este criterio. La estabilidad de los metales presentes en las muestra está relacionada con la naturaleza química de las muestras que les hace que sean poco lixiviables.

### Palabras clave

Jales mineros, lixiviación, metales.

### Abstract

In this study we carried out a characterization of recent and historical tailings of Guanajuato Mining District. The analysis by ICP and AAS showed significant amounts in the following order of concentration: 12, 185 mg/kg Fe, 509 mg/kg Mn, 53 mg/kg Zn, 20 mg/kg Pb y 8 mg/Kg de Cr in recent

tailings and 11,676 mg/kg de Fe, 862 mg/kg de Mn, 53 mg/kg de Zn, 17 mg/kg de Pb y 12 mg/Kg de Cr in the historical tailing. The mineralogical analysis showed that the tailings contains quartz, calcite, covelita and to a lesser proportion magnetite, iron and zinc. The analysis of organic matter revealed the total absence of organic matter in samples and the values of pH are in a range from neutral to alkaline. The leaching tests indicate that the metals can not be leached in percentages higher than 0.4% and therefore do not represent an environmental risk based on this criteria.

### Keywords

Tailings, leaching, heavy metals

### Introducción

El distrito minero de Guanajuato se localiza en la ciudad del mismo nombre, a 475 kilómetros de la ciudad de México. Es considerado uno de los más grandes del mundo, con una longitud de aproximadamente 20 km, un ancho promedio de 16 km y cubre un área de 320 km<sup>2</sup>. Los residuos mineros, conocidos también como *colas* (tailings), relaves o jales mineros, son el producto de la trituración y molienda del mineral una vez que se han recuperado los metales comerciales mediante procesos físicos y químicos [1]. La composición de estos jales mineros puede ser muy diversa en su naturaleza tanto química como mineralógica [2].

Se han llevado a cabo estudios encaminados a la identificación de depósitos de residuos mineros conocidos como presas de jales con el fin de identificar el potencial de riesgo ambiental en este distrito, en el

cual la problemática de los residuos es muy compleja debido a las características geológicas y la historia de extracción. Se han identificado 31 depósitos de jales, los cuales ocupan un área de 81.9 hectáreas y representan 40.3 millones de toneladas. Existen 11 depósitos de jales de cianuración construidos entre 1905 y 1946, de los cuales cuatro están fuertemente erosionados. Hay 20 presas de jales de flotación “bulk”, cuyos depósitos presentan diferente textura [3].

Los elementos presentes en los jales que pueden ocasionar problemas por su alta toxicidad son el arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, cromo, selenio y zinc [4]. Algunos otros como el Fe y el Mn aunque representan riesgo menor, se considera que podrían tener efectos adversos a la salud [2].

Estos Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) que pueden estar presentes en presas de jales mineros, representan un riesgo ambiental por la posibilidad de lixiviación e incorporación a cuerpos de agua, así como la movilización a otros ecosistemas por dispersión eólica o hídrica. El objetivo de éste trabajo es evaluar la lixiviación de los metales presentes en los jales, simulando condiciones ambientales que pudieran movilizar los EPT.

### Materiales y métodos

En el presente estudio se tomaron muestras de dos sitios: una presa de jal en operación y otra fuera de operación, nombrados respectivamente como jales recientes y jales históricos. Las diferencias mostradas en los resultados obtenidos pueden ofrecer indicios del efecto de los factores ambientales sobre la variación en las propiedades de sitios evaluados.

Las muestras fueron caracterizadas química y mineralógicamente para la identificación de EPT y minerales de tipo sulfuro como pirita ( $\text{FeS}_2$ ), galena ( $\text{PbS}$ ), calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) y esfalerita ( $\text{ZnS}$ ) a los cuales se asocia el Drenaje Acido de Mina (DAM), que es uno de los principales problemas de impacto ambiental que enfrenta la industria minera, que consiste en efluentes ácidos con altas concentraciones de metales en solución con potencial de lixiviación.

De manera inicial se identificaron los metales presentes mediante microscopio electrónico de barrido con análisis por dispersión de energía de rayos X (SEM-EDX). Posteriormente se realizó un análisis de elementos metálicos presentes utilizando un Espectrofotómetro de Emisión Atómica con Acoplamiento Inductivo (ICP), modelo Optima 3300 DV Perkin Elmer aplicando el método EPA 6010B [5]. La digestión de la muestra se realizó utilizando el método EPA SW 846-3051, y una unidad de microondas especial para laboratorio (Mars X Cem) [6].

Se realizaron pruebas de lixiviación de metales utilizando la metodología propuesta por Cruz y col. [7]. Para ello se utilizaron embudos Buchner de 10 cm de diámetro, previamente tapados por la parte de abajo y colocando un papel filtro Whatman No 90 sobre la superficie del embudo. Se agregaron 30 gr de la muestra de jal y 100 ml de agua meteórica simulada pH 5.5, que simulan condiciones naturales de lluvia ácida. Las muestras se dejan en contacto por tres horas y luego se vacían para determinar la concentración de metales en el lixiviado.

### Resultados y discusión

Las pruebas de SEM – EDX muestran que los elementos encontrados en mayor proporción fueron Si, Mn, Fe, Zn y Cu. (Figuras 1 y 2). Posteriormente los resultados fueron confirmados por ICP para determinar la concentración total y la estimación de la contaminación actual por EPT en las presas de jales evaluadas.

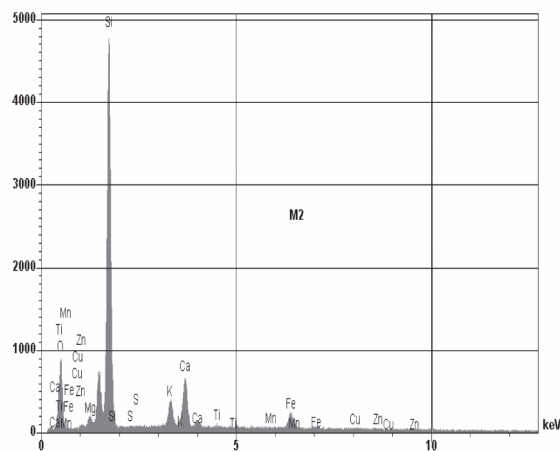


Figura 1. Espectro obtenido por EDX para jales recientes.

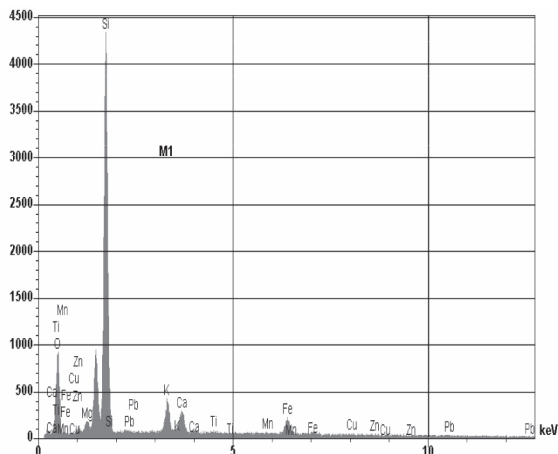


Figura 2. Espectro obtenido por EDX para jales históricos.

Los resultados de las determinaciones totales de metales presentes en las muestras analizadas (Tabla 1) indican que los sitios evaluados contienen EPT, lo cual muestra, el grado de contaminación en los sitios de estudio.

| Muestra       | Indicador      | Concentración de metales (mg/kg) |     |     |     |     |
|---------------|----------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|               |                | Fe                               | Zn  | Mn  | Pb  | Cr  |
| Jal reciente  | Total          | 12,185                           | 53  | 509 | 20  | 8   |
|               | Lixiviable     | 0,0                              | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
|               | Lixiviable (%) | 0,0                              | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,4 |
| Jal histórico | Total          | 11,676                           | 53  | 862 | 17  | 12  |
|               | Lixiviable     | 1,2                              | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,0 |
|               | Lixiviable (%) | 0,0                              | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tabla 1. Concentraciones de metales en los jales y en los lixiviados.

Elementos como Cd y As permanecieron por debajo del límite de detección en ambas muestras.

La comparación de los datos indica que no hay diferencia importante en cuanto a la cantidad de metales que contienen los jales recientes e históricos, lo que nos da una primera evidencia de que los metales presentes son muy estables y se lixivian muy poco por efecto de la lluvia y factores ambientales.

Las pruebas de lixiviación realizadas en celdas húmedas indican concentraciones muy pequeñas de los metales obtenidas en los lixiviados (Tabla 1), ya que el valor máximo fue de 1.2 mg/kg para el caso del Fe. Al calcular los porcentajes de lixiviación, se observa que en ninguno de los casos se tiene un valor mayor al 0.4 %, lo que indica que los metales presentes en los jales son muy poco lixiviables en las condiciones utilizadas (agua meteórica simulada pH 5.5) que simula condiciones naturales de lluvia ácida. En este sentido, se puede establecer que los metales presentes en las muestras de jal no representan un riesgo ambiental importante considerando como criterio la posibilidad de lixiviación.

El análisis mineralógico de las muestras de jal mostró que los jales están constituidos mayoritariamente por cuarzo (SiO<sub>2</sub>), calcita (CaCO<sub>3</sub>), covelita (CuS), sulfuro cuproso (CuS<sub>2</sub>) y, en menor proporción, magnetita, fierro y zinc Fe<sub>3</sub>Zn<sub>10</sub> (Figuras 3 y 4). Los análisis de contenido de materia orgánica revelaron la ausencia total de materia orgánica en las muestras analizadas y los valores de pH determinados van de neutros a alcalinos. La baja presencia de metales en los lixiviados obtenidos en las pruebas de celdas húmedas puede atribuirse a una combinación de factores relacionados con la naturaleza química de las muestras.

Esto puede explicarse por el pH de las muestras, ya que los metales son menos solubles a pH alcalino, como es el caso de las muestras de jales

utilizadas; además, la presencia de la calcita, y la ausencia de lixiviación de los metales, indica que hay una cantidad importante de carbonatos que pueden contrarrestar cualquier posibilidad de generación de drenaje ácido causada por la oxidación de los minerales sulfurosos como covelita, la cuál fue identificada en las dos muestras, por lo que no se espera la formación de DAM que pudiera solubilizar los metales.

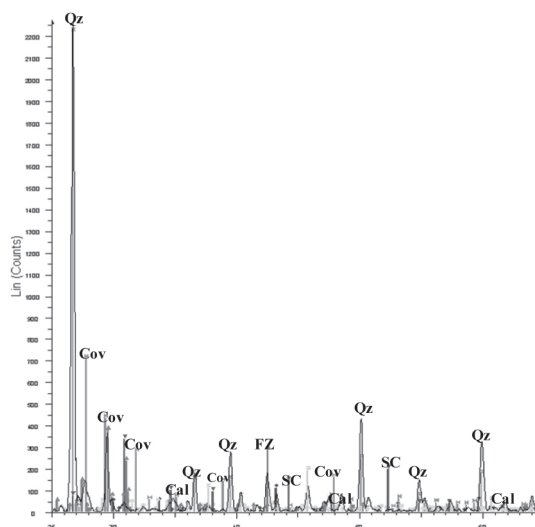


Figura 3. Espectro de Difracción de Rayos X de jales Recientes. Se observa minerales de Cuarzo (Qz), Covelita (Cov), Sulfuro cuproso (SC), Calcita (Cal) y Fierro-Zn (FZ).

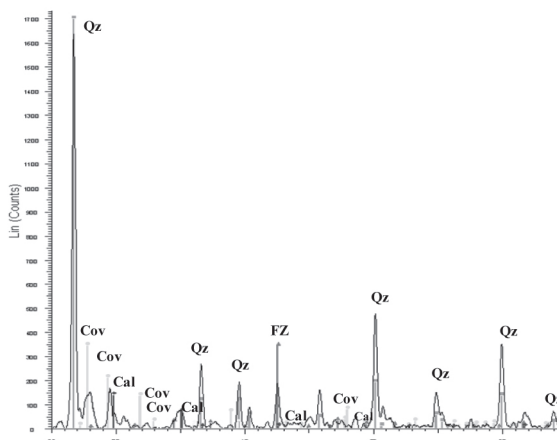


Figura 4. Espectro de Difracción de Rayos X de jales históricos. Se observa minerales de Cuarzo (Qz), Covelita (Cov), Sulfuro cuproso (SC), Calcita (Cal) y Fierro-Zn (FZ).

Se conoce que los metales pueden estar en los jales asociados a diferentes fracciones, las cuales permiten liberar de manera gradual los metales presentes en función de su capacidad de movilización. Las fracciones enlace a las que comúnmente se pueden unir son: intercambiable, unidos a carbonatos, unidos a óxidos, unidos a sulfuros y a una fracción residual; la fracciones que representan la mayor posibilidad de lixiviación son las que corresponden a metales intercambiables y unidos a carbonatos. Ésta última generalmente afectada por las variaciones de pH en el medio [8]. La mineralogía de las muestras de jales que se analizaron (Figuras 3 y 4) indican la presencia de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) lo que permite inferir que los metales presentes en estas muestras pudieran estar asociados preferentemente a la fracción unida a carbonatos y a la fracción residual (asociada con el  $\text{SiO}_2$ ), en las cuales los metales presentes se consideran muy estables por la fuerte interacción que tienen con los materiales.

### Conclusiones

Se realizaron pruebas de lixiviación de dos muestras de jales mineros del Distrito de Guanajuato, encontrándose cantidades importantes de Fe, Mn, Zn, Pb y Cr. Sin embargo, las pruebas en celdas húmedas indican que no se puede lixiviar más del 0.4% de los metales presentes en el jal utilizando agua que simula condiciones de lluvia ácida. De acuerdo a lo anterior, los jales mineros de donde se extrajeron estas muestras no representan riesgo ambiental importante considerando solamente el fenómeno de lixiviación de los metales. La baja lixiviación de los metales se relaciona con la naturaleza de las muestras ya que presentan un pH alcalino, existen condiciones que previene la formación de DAM y la presencia de cuarzo y calcita pueden indica que los metales pueden estar asociados a estas fracciones que son sumamente estables.

### Referencias

- [1] Aurora M., Villaseñor G., y Romero F. (2005). Propuesta de estrategia metodológica para la evaluación de la peligrosidad de jales mineros en México. *AIMMGM XXVI Convención Internacional de Minería*. 12-15
- [2] Tania Volke Sepúlveda, Juan A. Velasco Trejo y David A. de la Rosa Pérez. (2005) *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. Primera Ed., México.

- [3] Ramos Y., Siebe C. (2006). Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el distrito minero de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 23, núm. (1). 54-74
- [4] Ramos Y., y col (2004). Características geológicas y mineralógicas e historia de extracción del Distrito de Guanajuato, México. Posibles escenarios geoquímicos para los residuos mineros. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 21, núm. (2) 268-284.
- [5] United States Environmental Protection Agency, (1996), Method 6010 B: Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.
- [6] United States Environmental Protection Agency, (1994), Method 3051: Microwave Assisted Acid Digestion, in SW 846 test method for evaluating solid waste.
- [7] Roel Cruz, Blanca A. Mendez, Marcos Monroy, Ignacio González, (2001). Cyclic Voltammetry applied to evaluate reactivity in sulfide mining residues. *Applied Geochemistry* 16, 1631-1640.
- [8] Tessier A., 1979 Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. *Analytical*, Vol. 51, No. 7

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo del CONCyTEG (Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato) por el apoyo proporcionado mediante el proyecto GTO-2005-C04-18583.

Alejandro Medel agradece a CONACYT por la beca otorgada para estudios de Maestría y Samanta Ramos por la beca de Doctorado.

Se agradece el apoyo del M.C Federico Manríquez por el apoyo para la realización de los difractogramas y a la Q.F.B. Guadalupe Olvera por los análisis realizados.

**Artículo recibido:** 22 de mayo de 2008

**Aceptado para publicación:** 27 de junio de 2008

## **Fixture de Prueba DATEC Inalámbrico**

Reporte de proyecto

M.C. Héctor Arellano Rangel<sup>1</sup>, Ing. Carlos Gustavo Díaz de León Gutiérrez<sup>2</sup>, Ing. Antonio Velasco Vargas<sup>2</sup>.

(1) Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

(2) Sensata Technologies

Instituto Tecnológico de Aguascalientes. Av. López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Bona Gens., Aguascalientes,

Ags. Tel: (014) – 9-10-50-02, Fax (014)-9-70-04-23

e-mail: harellanor@hotmail.com

### **Resumen**

En este reporte se presenta el diseño del prototipo para el sistema de comunicación, que permitirá la transferencia de datos en forma inalámbrica, entre el fixture y un sistema de control de prueba DATEC (prueba funcional del producto), la cual es parte fundamental del sistema de producción de moto protectores.

Para el diseño del prototipo se utilizan microcontroladores, circuitos digitales y dispositivos fotosensibles.

Con el desarrollo del prototipo se incrementa en un 100% la confiabilidad de la información transmitida que a su vez permite un ahorro de 1920 dólares mensuales en los costos de producción.

Por lo anterior el prototipo resulta ser una herramienta fundamental, para mejorar los parámetros de operación del sistema de producción de moto protectores.

### **Palabras clave**

Fixture, Prueba DATEC, Moto protectores.

### **Abstract**

This report shows the communication system prototype design process, which allows wireless information transference between the fixture and the test control system DATEC test (functional test), which is an important item in the motors protector production system.

To design the prototype were used microcontrollers, digital circuits and photosensitive devices.

With this prototype development the use of wires has been eliminated achieving 100% information transmission reliability and as a consequence a 1920 USD operation cost reduction savings has been obtained. The prototype is a fundamental tool,

to improve the operation parameters in the motors protector production system.

### **Keywords**

Fixture, Test DATEC, Motor protectors.

### **Introducción**

Uno de los productos que elabora la empresa Sensata Technologies en el área denominada MXP3, son los moto protectores trifásicos, dispositivos que son utilizados como elementos de seguridad en diferentes equipos industriales. Los moto protectores son controles automáticos que se conectan en serie con las bobinas de los motores. Estos dispositivos se diseñan para monitorear la temperatura de las bobinas, de tal manera que se puedan detectar en forma indirecta los cambios en la corriente de línea y proporcionar protección contra diversas condiciones de sobrecarga.

Un moto protector tiene un bimetálico, el cual bajo el efecto del calor producido por un exceso de corriente en el motor, abre o interrumpe el circuito que alimenta las bobinas, protegiéndolo de sobrecalentamientos que pudieran dañarlo permanentemente. El circuito permanece abierto hasta que la temperatura desciende, pero no a la misma de apertura, sino a una mucho menor para garantizar mayor seguridad. La apertura del bimetálico se debe principalmente, a la diferencia de los coeficientes térmicos de dilatación de los metales que lo componen.

El moto protector se sella herméticamente para mantener constantes las condiciones de operación del bimetálico, evitando de esta manera, que las variaciones de los parámetros externos pudiesen afectar su correcto funcionamiento y proporcionar un mayor grado de seguridad en la operación del dispositivo.

En la figura 1 se muestra el esquema correspondiente a la construcción de un moto protector.



Debido a que los dispositivos mencionados, son utilizados como elementos de protección, las pruebas funcionales a las cuales son sometidos adquieren una gran relevancia, una de ellas específicamente, es la conocida como prueba DATEC, la cual consiste en colocar los moto protectores bajo prueba en un recipiente especial, al cual se le conoce con el nombre de fixture.

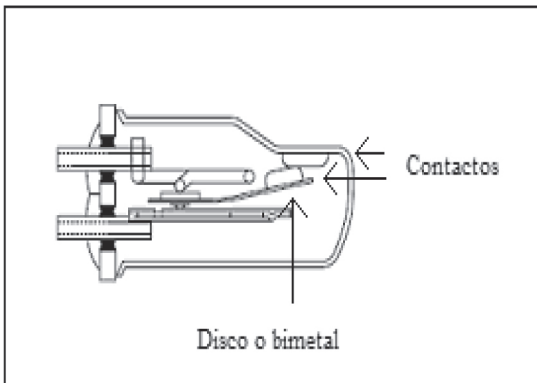


Fig. 1.- Moto protector serie 3HM.

El fixture se introduce en un tanque, en el cual la temperatura se varía gradualmente entre los límites de trabajo del moto protector, con el propósito de comprobar que la apertura y cierre se den en los valores de temperatura especificados para el dispositivo.

Con el propósito de monitorear la operación del moto protector, el fixture se conecta al bus de datos de una computadora a través de un cable especial. Una vez que la computadora recibe los datos, los analiza y genera un reporte de las condiciones de operación del dispositivo. Un esquema de esta prueba se presenta en la figura 2.

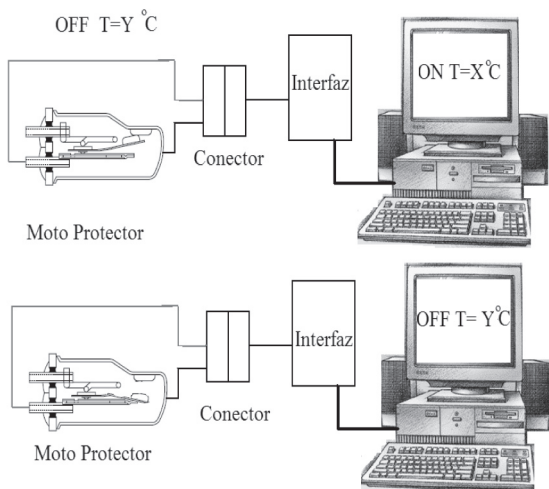


Fig. 2.- Esquema de la prueba DATEC.

Como se menciona, el fixture se conecta físicamente al equipo de prueba mediante un cable especial, el cual, debido al esfuerzo físico y al uso constante a que es sometido durante la jornada de trabajo, presenta un deterioro acelerado, debiéndose reemplazar en promedio cada 2 semanas. Como en el área existen 12 tanques DATEC con una capacidad de 8 fixture cada uno, mensualmente se deben cambiar 192 cables, lo que significa un gasto de 1920 dólares, considerando un costo aproximado de 10 dólares por cada cable.

Otro problema que conlleva el deterioro de los cables de conexión, es el hecho de que no se puede determinar con certeza el momento exacto en el cual dejan de operar, lo que trae como consecuencia que algunos dispositivos deban de probarse hasta en dos ocasiones.

Otra situación que se presenta durante el desarrollo de la prueba DATEC, como consecuencia del deterioro que sufren los cables de conexión y a la falta de disponibilidad de los mismos, es el hecho de que la cantidad de moto protectores que son sometidos a prueba, es muy inferior a la capacidad instalada del equipo.

Lo anterior origina un incremento en los tiempos y costos de producción, una reducción en los niveles de producción y de ingresos, así como una pobre fiabilidad de los datos transmitidos, lo que globalmente repercute en un descenso de los índices de productividad del proceso en su conjunto.

Con base en lo expuesto, el objetivo del proyecto es el desarrollo de un sistema de comunicación inalámbrico, que permita la transmisión de información entre el fixture de prueba y el sistema de control de la prueba DATEC, eliminando la necesidad de utilizar cables de conexión, con el propósito fundamental de optimizar de los parámetros de trabajo del sistema de producción de moto protectores.

### Desarrollo

De la observación del proceso, se determinó que el daño que sufren los cables de conexión, se debe fundamentalmente al trato "rudo" que los operadores dan a dicho cable.

Cabe mencionar que durante el desarrollo de la prueba, el cable no está sometido a ningún tipo de esfuerzo físico que pudiese provocarle algún daño, sin embargo, al conectarse y desconectarse continuamente sufre torsiones que con el tiempo van mermando su estado físico, hasta que se presenta el daño irreversible, lo que impide la comunicación con la computadora.

La primera propuesta que surgió para la solución del problema, fue sustituir los cables de conexión por otros cuyas características físicas fueran más acordes con las

condiciones de trabajo, es decir, cables para uso rudo y de un calibre mayor. Sin embargo y por experiencias anteriores, el tiempo de vida de estos cables no varía significativamente en relación con los que se utilizan.

Una vez desechada la primera opción, se pensó en algún mecanismo, el cual restringiese el movimiento del cable a solo 2 posiciones, conectado y desconectado. Sin embargo, dicho mecanismo corre la misma suerte, debido al uso constante durante el desarrollo de las pruebas. Por lo anterior, la mejor alternativa de solución fue eliminar el uso de cables e implementar un sistema de comunicación inalámbrica.

Al decidirse a establecer una comunicación inalámbrica entre el fixture y el bus de datos, el primer problema que se presentó fue la selección del tipo de comunicación, para ello se analizaron las ventajas y desventajas tanto de la comunicación vía RF (Radio Frecuencia), como de la comunicación IR (Infra Rojo).

Por una parte, se estableció que la comunicación vía RF es omnidireccional y presenta una velocidad de transmisión alta, pero el ruido ambiente tiene un efecto negativo en la veracidad de los datos transmitidos, por su parte, la comunicación IR es direccional, de baja velocidad y en cierta medida inmune al ruido generado en el entorno, lo que asegura una mayor fiabilidad en los datos transmitidos.

Así pues, tomando en cuenta que la disposición física del transmisor y el receptor es tal, que la velocidad de transmisión no es crítica y que se puede establecer una comunicación direccional, aunado al hecho de que se requiere una comunicación exenta de interferencias del medio ambiente, se optó por la comunicación vía IR.

Una vez establecido tanto el tipo de sistema y el tipo de comunicación mediante los cuales se debe de llevar a cabo la transmisión de datos, se propuso el diagrama a bloques que se presenta en la figura 3, para la implementación del sistema.

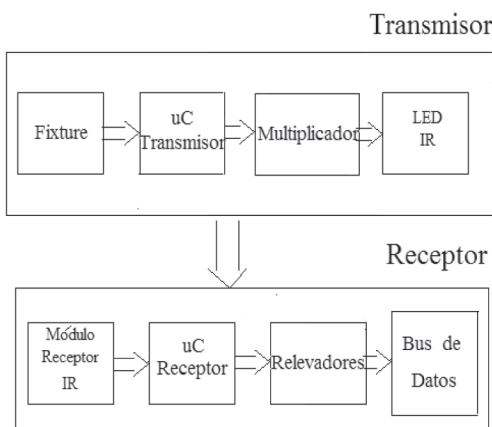


Fig. 3.- Diagrama a bloques del sistema.

El sistema consta de dos módulos fundamentales, el transmisor y el receptor, cuyas características y proceso de diseño se describe a continuación.

La función del transmisor es la de capturar, procesar y enviar la información correspondiente al estado de las piezas bajo prueba, hacia el circuito receptor.

La información acerca del estado de las piezas, es leída por el puerto paralelo de un microcontrolador 18F452 [1], el cual la procesa y la acondiciona, de tal manera que la información pueda ser transmitida en forma serial al circuito multiplicador, el cual modula esta señal con una portadora de 40 KHz, generada internamente en el microcontrolador mediante la técnica PWM (Modulación por Ancho de Pulso).

La modulación que se emplea es la denominada ASK (Amplitude Shift Keying)[2], con una frecuencia de portadora de 40 KHz, frecuencia que está lo suficientemente alejada de la interferencia provocada por la componente de luz infrarroja con frecuencia de 100 hz, causada por los tubos fluorescentes. Con el propósito de efectuar la multiplicación de las señales y lograr la modulación ASK, se emplea una compuerta AND[3] y para llevar a cabo la conversión de la señal eléctrica resultante en una señal óptica dentro del espectro infrarrojo, se emplea un LED (Diodo Emisor de Luz) del tipo IR.

La velocidad de transmisión es de 1200 baudios, velocidad aceptable para la aplicación, ya que permite reducir el riesgo de interferencia por la corta duración de los pulsos emitidos.

Un esquema del proceso de modulación se presenta en la figura 4, en la cual se observa la portadora, la información y la señal modulada resultante.

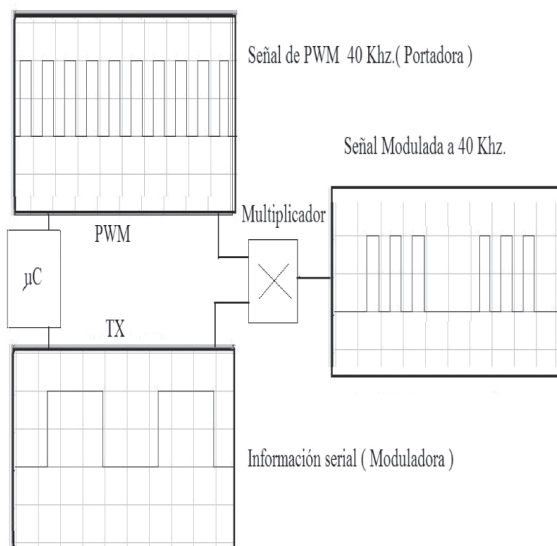


Fig. 4.- Proceso de modulación.

El esquema final del circuito transmisor se puede ver en la figura 5, en donde se muestra la manera en que es acoplado el fixture de prueba al microcontrolador y la forma en que se encuentran interconectados los elementos que componen esta etapa.

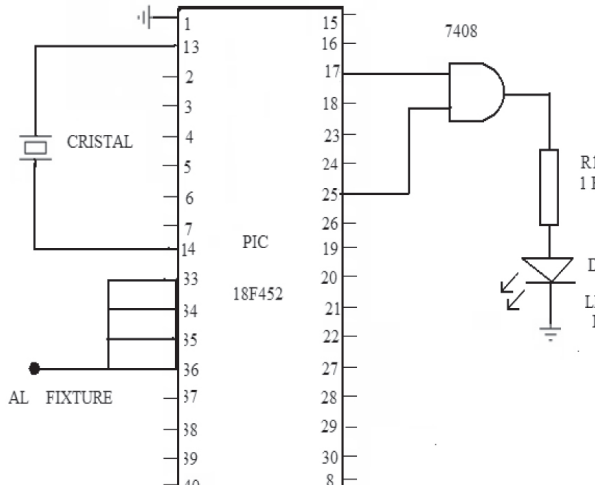


Fig. 5.- Esquema del Transmisor.

Una vez diseñado el circuito transmisor, el siguiente paso consistió en el diseño del circuito receptor. Como se indica en la figura 3, el primer elemento de este bloque es el receptor infrarrojo, cuya función es la de realizar la demodulación de la señal ASK de 40 KHz. Este primer bloque está constituido por una lente, un receptor de luz infrarroja, un filtro y un demodulador. El módulo receptor infrarrojo utilizado es el TSOP312 [4], el cual presenta una alta inmunidad a las perturbaciones del medio ambiente.

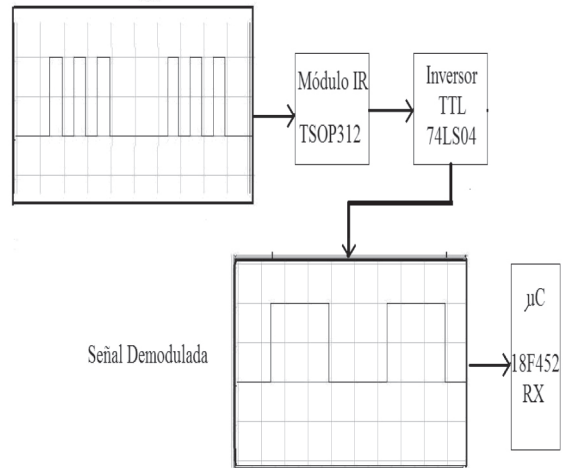
El microcontrolador empujado en el módulo receptor es un 18F452 [1], el cual es del mismo tipo que el utilizado en el módulo del trasmisor.

La señal demodulada es una señal en formato serial, la cual contiene la información enviada por el transmisor y que corresponde al estado de las piezas bajo prueba en el fixture.

El proceso de demodulación se presenta en la figura 6.

La señal de salida del módulo infrarrojo es aplicada al microcontrolador, a través de su puerto serial. Una vez que el microcontrolador recibe la señal, activa las salidas del puerto paralelo y cada una de ellas conmuta a su vez un relevador. Cada relevador representa un canal digital conectado al bus de datos, el cual corresponde al estado que presenta cada pieza en ese instante.

Información Modulada a 40 Khz.



El diagrama eléctrico del circuito receptor se puede apreciar en la figura 7.

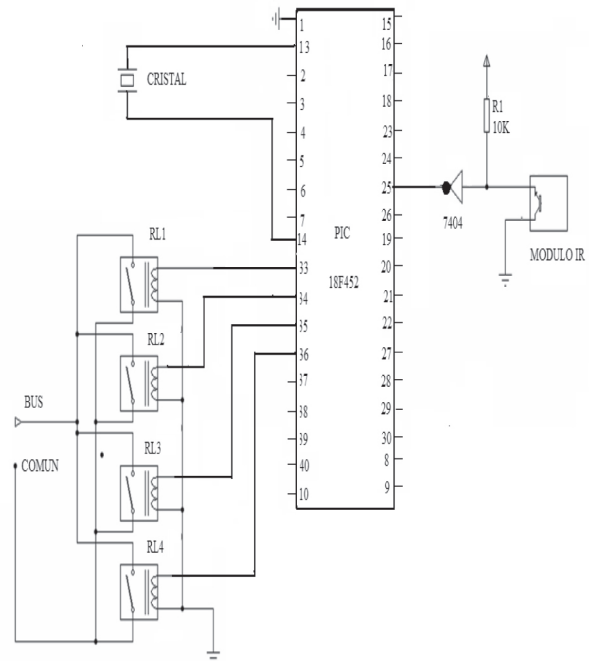


Fig. 7.- Diagrama eléctrico del receptor.

En la figura 8 se muestra la ubicación del prototipo dentro del sistema de la prueba DATEC.



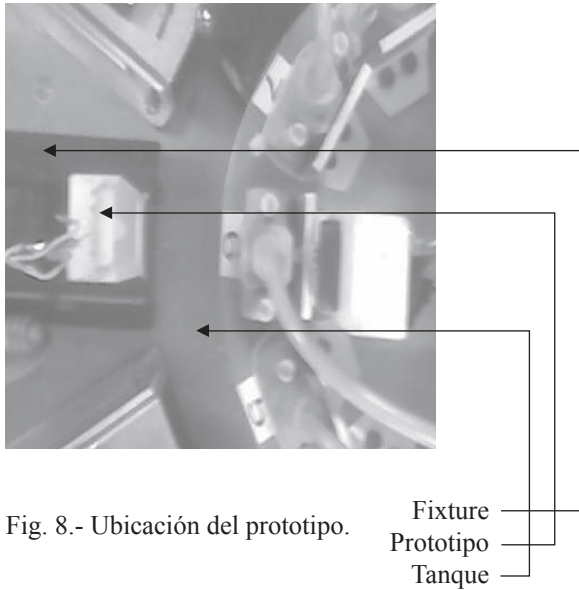


Fig. 8.- Ubicación del prototipo.

### Resultados

Con la realización del proyecto, se alcanzan los resultados que a continuación se describen:

**Eliminación de gastos por reemplazo de cables.-** Al utilizar un sistema de comunicación inalámbrico, se elimina el uso de cables de conexión y con ello el gasto que se realizaba por este concepto.

**Aprovechamiento de la capacidad instalada.-** Con el sistema inalámbrico se utiliza al 100% la capacidad instalada de cada tanque, ya que no se presenta la situación de falta de cables de conexión que obligaba a utilizar hasta un 50% de dicha capacidad, logrando además, mejorar sensiblemente la eficiencia del equipo.

**Reducción de los tiempos del proceso.-** Debido a que la seguridad de la transferencia de datos se incrementa con el uso del sistema inalámbrico y se elimina la necesidad de repetir pruebas, los tiempos del proceso se ven reducidos.

**Mejoramiento del área de trabajo.-** Con la eliminación de los cables de conexión, se mejora el impacto visual del equipo y se hace un uso más eficiente del área de prueba, lo que repercute en mejor ambiente de trabajo.

### Conclusiones

Considerando los resultados obtenidos, se puede afirmar que el objetivo planteado se cumple plenamente, debido a que se logra la transmisión de información en forma inalámbrica durante la realización de la prueba DATEC, eliminando el gasto por reemplazo de cables.

Por otra parte, se asegura que el número de piezas bajo prueba, sea limitado únicamente por la capacidad de cada tanque.

En forma general se puede establecer que, con la implementación del sistema de comunicación, se optimizan los parámetros de operación de la prueba DATEC y al trabajador se le brinda un mejor ambiente de trabajo, lo que redundará en un mejor desempeño de su quehacer cotidiano.

### Referencias

- [1] 18F452 Data Sheets (2007), MICROCHIP, U.S.A., <http://www.microchip.com/>
- [2] Floyd, T.L., (2000), *Fundamentos de sistemas digitales*, Séptima Edición, Prentice Hall, México.
- [3] Texas Instruments, (1995), *TTL, Data Book*, USA.
- [4] TSOP312 Data Sheets (2007), VISHAY, U.S.A., <http://www.vishay.com/>

**Artículo recibido:** 4 de abril de 2008

**Aceptado para publicación:** 20 de junio de 2008