



Implementación de MicroBlaze para Robótica Móvil

Ulises Orozco-Rosas y Roberto Herrera-Charles

MicroBlaze implementation for a mobil robot

Recibido: septiembre 10, 2012

Aceptado: octubre 21, 2012

Palabras clave: Sistemas Embebidos; Robótica Móvil; MicroBlaze; FPGA.

Abstract:

This paper presents the configuration of a Xilinx MicroBlaze embedded system on an FPGA and programming of a software module in C that acts as a command and control of sensors and actuators for a Mobile Robot. At present there is a demand for autonomous mobile robots in various application fields such as transport of materials, cleaning, monitoring, guiding people and military applications. These mobile robots must interact with their environment to accomplish their tasks; this environment may be subject to change settings and contingencies. This paper addresses a part of the problem of navigation of a Mobile Robot, specifically to avoid the obstacles. To solve this problem, we propose to use an embedded system in FPGA, we use the configuration of a MicroBlaze processing system within the FPGA Spartan 3AN series from Xilinx, which can integrate and configure many different devices and digital processing in real time on a single module of the mobile robot.

Keywords: Embedded Systems; Mobile Robotics; MicroBlaze; FPGA.

U

N sistema embebido consiste en un sistema de computación cuyo hardware y software están específicamente diseñados y optimizados para resolver un problema concreto eficientemente. El término "embebido" (también se le conoce como "empotrado") hace referencia al hecho que la electrónica o el sistema electrónico de control es una parte integral del sistema en que se encuentra. La característica principal que diferencia a los "embebidos" de los demás sistemas electrónicos es que, por estar insertados dentro del dispositivo que controlan, están sujetos en mayor medida a cumplir requisitos de tamaño, fiabilidad, consumo y coste, y su existencia puede no ser aparente [5].

Ahora bien, un robot es una entidad, física o virtual, artificial. Los modelos físicos por lo general están constituidos por uno o más sistemas electromecánicos administrados por una arquitectura de control. Los robots autónomos, a su vez, son aquellos que tienen la capacidad percibir información del entorno y actuar en base a la misma, sin supervisión directa de otros interlocutores. Por su parte, los robots móviles son aquellos que tienen la capacidad de moverse en su entorno [6].

El objetivo de este trabajo, consiste en la implementación de un sistema embebido MicroBlaze, el cual asistirá en las decisiones de un Robot Móvil para evadir los obstáculos que

se presenten durante su navegación. La implementación se realizó en dos etapas a través de la plataforma EDK, esta implementación se realizó embebiendo el procesador MicroBlaze en el FPGA Spartan 3AN, el cual toma como entradas al sistema a las señales provenientes de los sensores del robot móvil y las señales de salida del sistema van a los motores del robot móvil.

MICROBLAZE EMBEBIDO EN FPGA

El diseño e implementación de este proyecto se basa sobre un sistema embebido, definiendo a este como un sistema a base de Software/Hardware de uso específico construido dentro de un dispositivo mayor, en nuestro caso dentro de un Arreglo de Compuertas Programables en Campo (FPGA). Los sistemas embebidos se utilizan para usos muy diferentes a los usos generales a los que se suelen someter a las computadoras personales. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran incluidos en la placa base.

El sistema a embeberse es el procesador MicroBlaze, el cual es un procesador RISC (Reduced Instruction Set Computer) de 32 bits, desarrollado por Xilinx para sus familias de FPGAs Spartan y Virtex. MicroBlaze sigue una arquitectura Harvard, con interfaces de bus separadas para acceso a datos o instrucciones. El repertorio de instrucciones de MicroBlaze es el típico repertorio de un procesador RISC, en total cuenta con 87 instrucciones diferentes [3]. En la siguiente Figura se puede apreciar la arquitectura de un sistema de procesamiento MicroBlaze.

Para embeber el procesador MicroBlaze en el FPGA es necesario contar una herramienta de desarrollo, para ello se utilizó el Kit de Desarrollo Embebido (EDK) el cual es un conjunto de herramientas y propiedad intelectual (IP) que permite diseñar un sistema de procesamiento embebido completo para la implementación en un dispositivo FPGA [1]. El EDK utiliza la Xilinx Platform Studio (XPS) y el Software Development Kit (SDK) para fusionar el hardware y el software. La Figura 2 muestra el flujo del proceso de diseño de un sistema embebido básico.

Xilinx Platform Studio (XPS) es el entorno de desarrollo utilizado para el diseño del hardware en el sistema de procesamiento embebido. Por otra parte el Software Development Kit (SDK) es un entorno de desarrollo integrado, complementaria a XPS, que se utiliza para la creación de aplica-

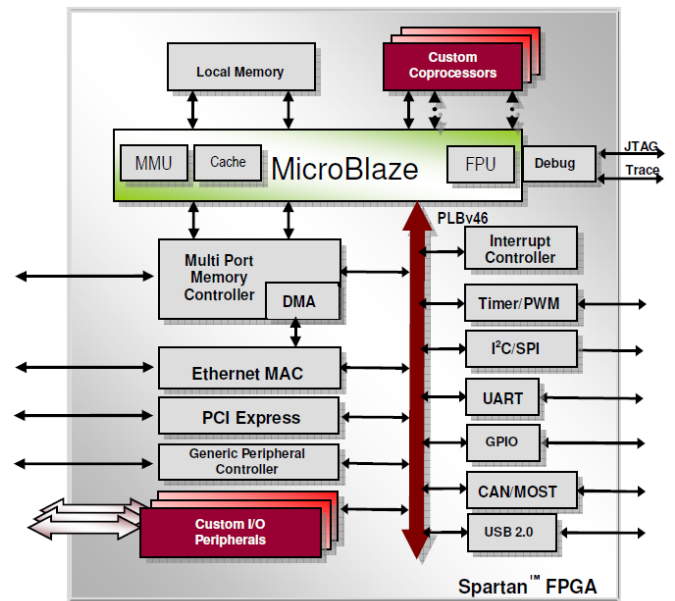


Figura 1. Arquitectura de un sistema de procesamiento MicroBlaze [2].

ciones embebidas a través del software y la verificación en C/C++. SDK se basa en el código abierto Eclipse [1].

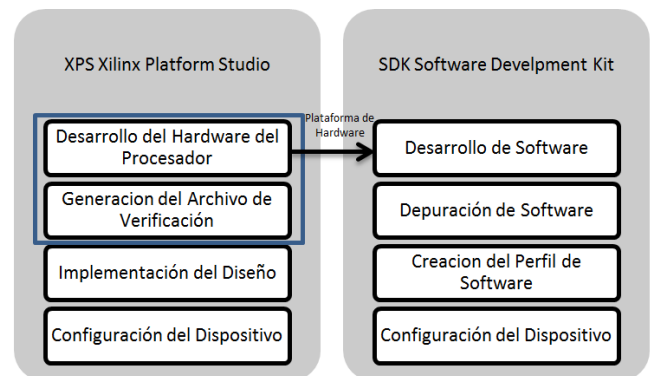


Figura 2. Flujo del proceso de diseño de un sistema embebido básico [1].

El procesador MicroBlaze es clasificado como soft-processor, en el cual, el usuario no tiene acceso a los detalles VHDL del circuito. Sólo puede analizarse a partir de la documentación del fabricante y de los resultados experimentales. Aun así, es una herramienta muy potente para desarrollar proyectos relacionados con arquitecturas paralelas, codiseño y control; y en general, en toda investigación so-

bre software, puesto que permite una comparación inmediata con otras arquitecturas y metodologías de desarrollo [7].

INTEGRACIÓN DE HARDWARE

La primer etapa consiste en la configuración de Hardware para ello se utilizó la plataforma Xilinx Platform Studio (XPS). En esta plataforma se conFiguran las características de la tarjeta a utilizar, en este caso la tarjeta Spartan 3AN, se conFigura como sistema de procesamiento único, el cual tendrá los siguientes parámetros: frecuencia de reloj de referencia = 50 MHz; tipo de procesador = MicroBlaze; frecuencia de reloj del sistema = 50 MHz, memoria local = 8 kB; con unidad de punto flotante.

Durante el proceso de integración de hardware a través de la plataforma XPS se genera un archivo con extensión .mhs (microprocessor hardware specification) el cual contiene las especificaciones de los puertos del sistema. Cada puerto ha de ser especificado con un nombre, tipo (entrada o salida) y el número de bits que componen el puerto. Así, por ejemplo, si conFiguramos el MicroBlaze para almacenar código en una memoria externa al FPGA, se especificaran en este archivo las diferentes señales que desde el controlador han de salir del FPGA al exterior para controlar esta memoria. También se especifican las opciones de configuración del procesador, tales como los buses que componen el sistema. Otros parámetros a especificar son la utilización de recursos hardware del FPGA, como por ejemplo divisores hardware (en caso de querer utilizar recursos del FPGA para esta tarea), habilitación de cachés y tamaño de las mismas, y por último, habilitación y opciones del modo de solución de errores (debug). Este archivo contiene las instanciaciones de los periféricos del sistema, así como la configuración de los mismos. Entre estas opciones Figura el rango de memoria en el cual están mapeados estos periféricos. Estas pueden asignarse en un archivo de opciones hardware .mpd (microprocessor peripheral description) y descargar el contenido al archivo de configuración de hardware. La herramienta EDK contiene un editor para este archivo [7]. Ya realizada esta configuración se exporta el diseño de hardware al Software Development Kit (SDK) incluyendo los archivos BMM y bitstream para continuar con la segunda etapa de implementación. En la siguiente Figura se muestran los bloques que representan los pasos a seguir en la configuración de Hardware al utilizar la plataforma XPS.

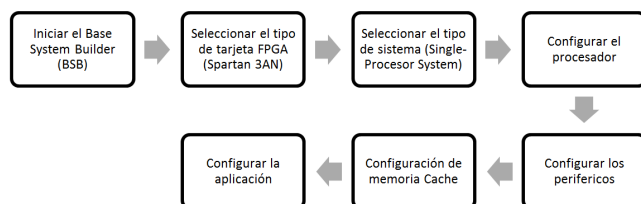


Figura 3. Pasos a seguir en la configuración de Hardware dentro de XPS.

DESARROLLO DE SOFTWARE

En el desarrollo de software se trabaja con la plataforma Software Development Kit (SDK), en esta parte del diseño se trabaja la lógica que requiere implementarse en el proyecto, en nuestro caso en el robot móvil. El lenguaje de programación es C/C++, en nuestro caso se trabaja con C. A continuación se muestra a forma de bloques el flujo de la fusión entre hardware y software en la Figura 4.

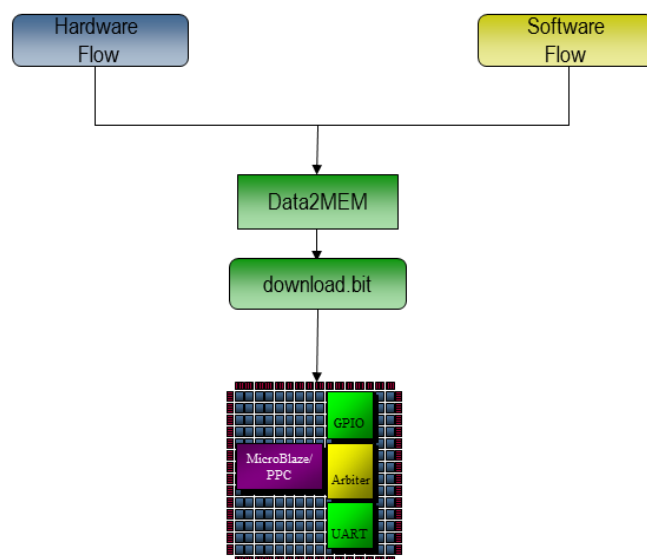


Figura 4. Flujo de la fusión entre hardware y software [4].

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MICROBLAZE EN EL ROBOT MÓVIL

En la Figura 5 se muestran los bloques que componen el sistema, si visualizamos todo el sistema en tres partes, en la primera parte ubicamos las entradas, siendo estas representada por los sensores, los cuales detectan la presencia de objetos. La segunda parte del sistema es el procesador MicroBlaze, el cual está constituido por un bloque de memoria, el procesador MicroBlaze mismo, un bus OPB el cual tiene como puertos de entrada-salida las unidades UARTLITE y GPIO, esta último es el que utilizamos como puerto en los sensores y actuadores. Finalmente la tercera etapa que consiste en las salidas, siendo estas representadas por las señales que van a los motores encargados de la tracción de las ruedas.

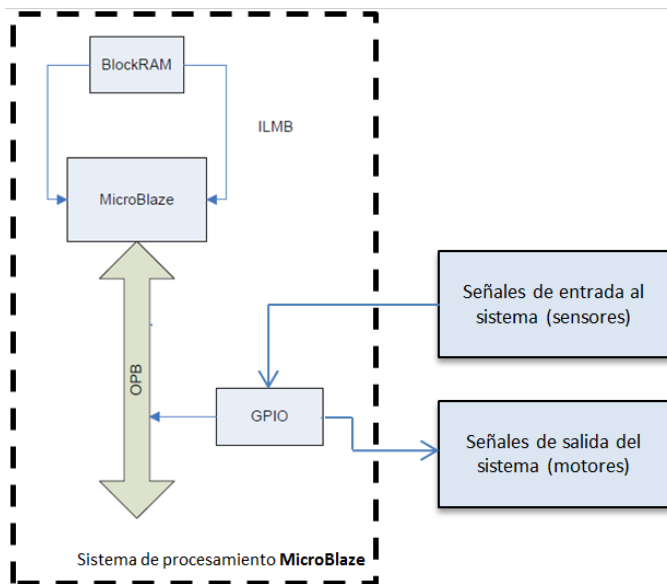


Figura 5. Diagrama a bloques del sistema implementado en MicroBlaze para robótica móvil.

En la Figura 7 se presenta el diagrama de flujo de la lógica utilizada en el robot móvil. El lenguaje de programación utilizado fue C bajo la plataforma SDK ya mencionada en las primeras secciones de este trabajo. Se presenta una lógica sencilla donde el único objetivo es el de evadir obstáculos para ello nos estamos auxiliando de tres sensores, dos de ellos colocados en la parte de enfrente y uno en la parte posterior, como se puede apreciar en la vista superior que nos muestra la Figura 6. Cuando uno de los sensores delanteros detecta la presencia de un objeto

el movimiento se hace hacia el lado contrario, por ejemplo al detectar el sensor izquierdo un objeto, el movimiento se hace hacia la derecha y viceversa. En caso de no presentarse ningún obstáculo por ningún sensor delantero el movimiento es recto hacia enfrente. Cuando ambos sensores delanteros son obstruidos se avanza en reversa durante un periodo y se gira a la derecha para luego poder continuar de frente. El caso extremo en el que los sensores delanteros y el posterior son obstruidos, se marca como un error, en donde el robot está encerrado y se prenden unas luces de emergencia deteniendo cualquier movimiento en la tracción de las ruedas del motor.

Para controlar el cambio de giro y activación de la tracción en las ruedas del robot móvil se utilizó una etapa de potencia constituida esencialmente por un puente “H” este recibe las señales provenientes del procesador MicroBlaze dependiendo el estado de los sensores, se manejan dos ruedas cada una con su propio motor. Adicional a esto se cuentan con otras dos ruedas, estas están sueltas, al referirnos como sueltas es que no contienen ningún motor y solo giran libremente si hay movimiento en el robot móvil, estas ruedas sueltas solo mantienen el equilibrio de robot mismo.

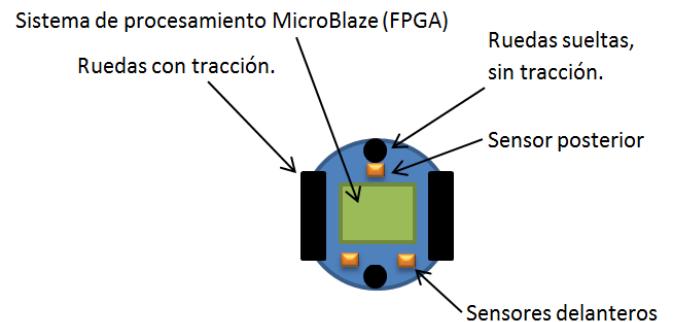


Figura 6. Representación esquemática del robot móvil visto desde la parte superior.

RESULTADOS

Los resultados que arroja este proyecto son positivos y alentadores para futuros trabajos en las áreas de sistemas embebidos y robótica móvil. El primer resultado obtenido fue la implementación del procesador MicroBlaze en una tarjeta FPGA Spartan 3AN de Xilinx, es un trabajo que requiere de dos plataformas de desarrollo, la primera de integración de hardware para la cual se utilizó XPS y la segunda para el

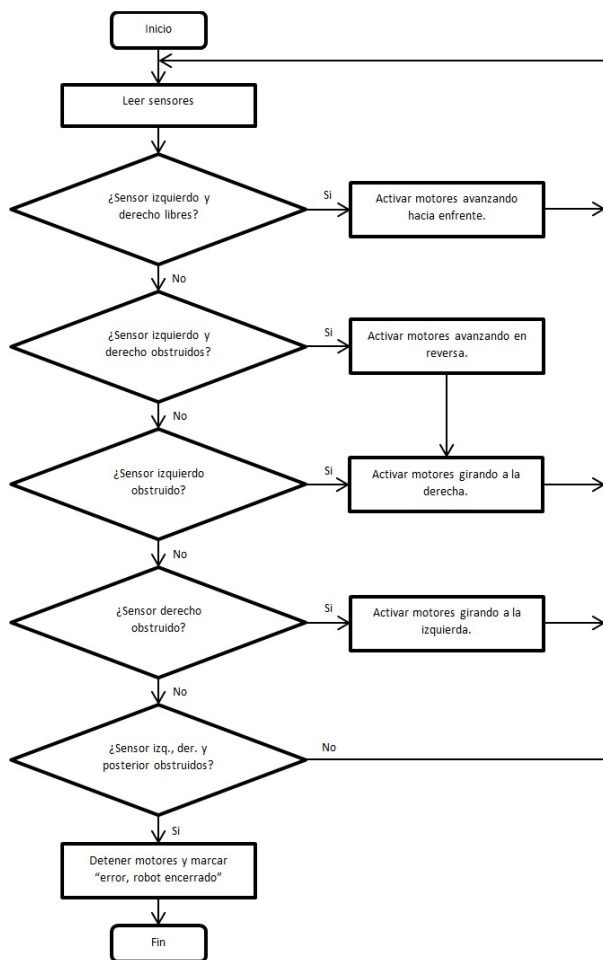


Figura 7. Diagrama de flujo de la lógica implementada en el robot móvil.

desarrollo de software en la cual se requirió de la plataforma SDK, ambas descritas en secciones anteriores de este documento.

El segundo resultado obtenido fue el acoplamiento de señales de entrada y salida. En un principio se manejaron las señales de entrada y salida solo de forma interna con los indicadores LEDs (Diodos Emisores de Luz) y los interruptores propios de la tarjeta Spartan 3AN de Xilinx. Para poder trabajar de forma externa se hizo la configuración de puertos externos a través de la plataforma XPS, ahora estas señales de entrada y salida externas a la tarjeta fueron protegidas mediante circuitos opto-acopladores, más que proteger las señales por protección de la tarjeta misma.

Ahora bien el tercer resultado obtenido fue pasar de la simulación a la implementación en el robot móvil. En un principio se utilizó la parte de simulación que ofrece la plataforma

XPS para obtener datos iniciales, en base a estos resultados se obtuvo información de inicio en la implementación física en el robot móvil, en el cual con datos experimentales se fueron haciendo ajuste para lograr el objetivo del robot, el evadir obstáculos.

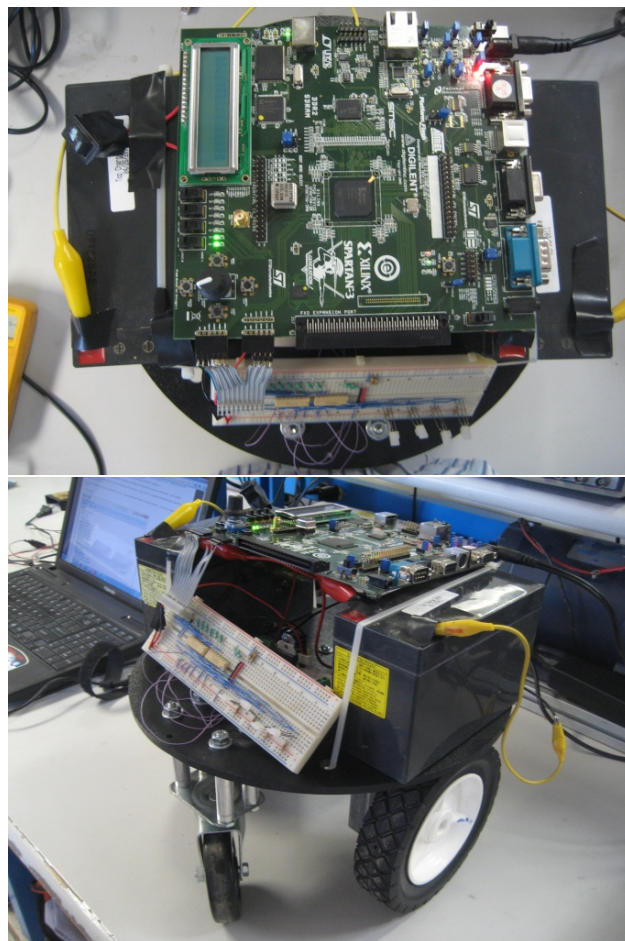


Figura 8. Imágenes del robot móvil.

CONCLUSIONES

El trabajar con una tarjeta FPGA representa hacer un traje a la medida de la necesidad o problema al cual se le quiera dar solución. Al embeber un sistema de procesamiento MicroBlaze en la tarjeta FPGA solo se utiliza una parte del potencial de la misma, es ahí donde se presenta la mayor ventaja, pues esta tarjeta cuenta con la capacidad para que se le puedan seguir integrando módulos para procesamiento digital en tiempo real, todo ello dentro de la misma tarjeta. Hablando de trabajos futuros, expandiendo las capacidades del robot móvil, puede surgir la necesidad de un coprocesamiento,

donde al estar trabajando con esta tarjeta FPGA, sus capacidades nos permiten albergar dos sistemas de procesamiento MicroBlaze dentro de la misma tarjeta, comunicándose y trabajando en la configuración que requiera el problema. La robótica móvil presenta grandes retos en sus campos de aplicación, debido a esta demanda de soluciones se requieren sistemas electrónicos capaces de integrar y soportar diversos módulos interactuando entre sí, el diseño sobre tarjetas FPGA representa un solución, pues más allá de solo poder integrar un sistema de procesamiento MicroBlaze o procesador suave (soft-processor) como es conocido, se puede integrar los recursos de FPGA para agregar bloques custom definidos en el lenguaje de programación VHDL, de esta forma se puede trabajar módulos secuenciales y módulos combinatoriales, tantos como sean requeridos dentro de la misma tarjeta.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a los Ingenieros Miguel Ángel Santiago Sandoval y Martin Sánchez Reyes por su valioso soporte en la construcción de la estructura mecánica y la etapa de electrónica de potencia del robot móvil.

Bibliografía

- [1] Xilinx, “EDK Concepts, Tools, and Techniques,” EDK 12.3, UG683 Septiembre 2010.
- [2] Navanee, S., “Getting Started with Embedded System Development using MicroBlaze processor & Spartan-3A FPGAs,” www.xilinx.com.
- [3] Huerta, P., “Tutorial EDK 8.2,” Ingeniería Superior e Informática, Universidad Rey Juan Carlos.
- [4] Xilinx, “Embedded Design with the Xilinx Embedded Developer Kit,” www.xilinx.com, 2009.
- [5] Arilla, C., Arribas, L., “Tendencias y aplicaciones de los Sistemas Embebidos en España,” Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial, 2009.
- [6] Azcurra, D., Rojo, S., Rodríguez, D., “Arquitecturas de control para robots autónomos móviles didácticos basados en sistemas embebidos,” XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 2012.

- [7] Aguayo, E., González, I., Boemo, E., “Tutorial Xilinx MicroBlaze,” XIV Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid.

Acerca del autor o autores

Ulises Orozco-Rosas es Alumno de la Maestría en Ciencias en Sistemas Digitales en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN), Tijuana, Baja California. uorozco@citedi.mx (autor corresponsal)

Roberto Herrera-Charles es Profesor-Investigador en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN), Tijuana, Baja California. robcharles@citedi.mx