

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**Departamento de Electrónica y Automática**



**Universidad Nacional  
de San Juan**

**Trabajo Final**  
**COMUNICACIÓN USB 2.0 PARA SISTEMAS CIENTÍFICOS**  
**IMPLEMENTADOS EN FPGA**  
**Informe**

**Edwin Barragán**  
Autór

**Ing. Cristian Sisterna**

**Mg. Martín Pérez**  
Asesores

**Dr. Marcelo Segura**

---

---

# Agradecimientos

Acá le agradezco a todos los miembros de la prestigiosa y gloriosa Comisión de Trabajo Final por sus incontables aportes a la causa. Si pongo punto y meto enter no se vé en el documento.

Si escribo barra barra hago un salto de línea pero no cambio de párrafo.

Si doy doble enter, coloca sangría, pero no hace el salto de línea para el párrafo.

Este último sí que es un párrafo decente!

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
1.1. Motivación . . . . .	4
<b>2. Interfaz entre FPGA y PC</b>	<b>7</b>
2.1. Arquitectura y Funciones del CY7C68013A . . . . .	7

## Capítulo 1

# Introducción

### 1.1. Motivación

Un carpintero desea medir la distancia de una barra de madera que luego será, tal vez, la altura de las patas de una futura mesa. Para ello, utiliza una cinta métrica, compuesta de una cinta metálica que posee una escala graduada. Sabe entonces que la barra mide la distancia que coincide con la distancia de la cinta graduada.

Un panadero desea medir cuanto pesa la harina que debe para poder amasar. Entonces, la coloca en una balanza y observa cuanto marca su indicador. Así conoce que la masa de la harina es equivalente a la fracción de medida que indica la balanza.

Un atleta desea conocer cuanto demora en correr un trayecto que posee 1.00 km. Por esto, registra el valor que indica su reloj al principio del recorrido y cuando alcanza el final observa nuevamente el artefacto. Luego de esto, calcula la diferencia entre el valor final y el inicial, conociendo cuanto tiempo le tomó realizar su travesía.

En los tres casos anteriores, tanto el carpintero, como el panadero y el atleta desconocen algo y necesitan cambiar su estado con respecto a esa incertidumbre. Por ello recurren a diferentes objetos, a fin de obtener conocimiento a partir de ellos. Sin embargo, estos objetos, por si mismos, no otorgan información, sino más bien otorgan un dato, que comparado y contrastado con otros datos, se traducen en conocimiento.

La información es el resultado de ordenar y procesar un conjunto de datos, de forma tal que permitan cambiar el estado de conocimiento sobre un asunto determinado. En el caso del carpintero, compara el tamaño de las patas de la mesa con una cinta metálica, que a su vez, posee registrada su distancia en función de algún patrón de metrología, establecido por convención. Esto quiere decir que el dato 1, la longitud del patron, junto al dato 2, escala graduada de la cinta, más el dato 3, la longitud de la cinta métrica, permiten al carpintero cambiar su estado de desconocido a conocido, con respecto a la longitud del trozo de madera, a través de la información proporcionada por el conjunto de datos.

Se puede realizar el mismo análisis con respecto a la balanza del panadero, considerando un peso patrón, un desplazamiento y una escala graduada o una señal eléctrica emitida por una celda de carga deformada un porcentaje de su capacidad, registrada previamente por su fabricante conforme a pesos patrones, y un circuito adaptador que transforma esa señal electrica en un valor numérico mostrado en un indicador.

El atleta compara las posiciones y los desplazamientos de las agujas de su reloj, previamente calibrado para que dé una vuelta por cada minuto en una aguja, otra aguja que dé una vuelta por hora y la tercera una vez cada 12 horas. Además, es probable que él haya ajustado la hora que indica el reloj para que otorgue un horario idéntico al de referencia, establecido por convención.

En todos los casos, se posee una gran cantidad de datos que, ordenados, procesados y comparados otorgan al usuario un valor útil, ya sea una longitud, una masa, un tiempo o cualquiera sea la variable física que se desee conocer.

La ciencia es un conjunto de técnicas y procedimientos que, a través del método científico, busca adquirir, descubrir y/o desarrollar nuevo conocimiento. Se desprende entonces, que la ciencia produce, de forma fundamental, información que luego es transformada en conocimiento. Cuando hablamos de ciencia, hablamos de una gran gama de objetos de estudio, sujeto a través del cuál se clasifican, en la mayoría de los casos, las ciencias: las Ciencias Sociales estudian las relaciones humanas, las Ciencias Naturales estudian objetos que se encuentran en la naturaleza, las Ciencias de la Tierra se enfocan en una rama más particular de la naturaleza, como lo son los minerales, la superficie terrestre, etc; y siguiendo así se puede encontrar un sinnúmero de ciencias. Sin embargo, toda ciencia necesita, para su correcta producción científica, adquirir una gran cantidad de datos que luego serán ordenados, procesados y transformados en información y conocimiento.

La incorporación de una herramienta especialmente diseñada para el procesamiento de datos, como lo es la computadora, permite manejar un número cada vez creciente de información. Es por eso que se encuentra en desarrollo un gran número de sensores y dispositivos que permitan obtener cada vez más datos.

En este sentido, uno de los desarrollos que se encuentran en boga es el de sensores que adquieran imágenes. Como ejemplos podemos encontrar, entre muchos otros, el desarrollo de sensores de radiación[1], ultrasonografía[2], telescopía de objetos cercanos[3], imágenes de distancia[4].

La captura de imágenes, fundamentalmente en el desarrollo de sensores nuevos, requiere de sistemas digitales de alta velocidad que tengan la capacidad de acarrear los datos desde el lugar físico en donde se obtienen los datos, es decir, en el transductor mismo, hasta el circuito o el sistema destinado al proceso de los mismos. De esta forma, toma particular interés la utilización de FPGA's, circuitos integrados diseñados para que un diseñador pueda sintetizar un circuito digital de alta velocidad reprogramable en el cual se puede implementar, con ciertas restricciones, circuitos desarrollados para una tarea muy específica que resuelva la tarea que el diseñador necesite.

A diferencia de un microprocesador o un microcontrolador, también muy usados en la industria electrónica, en el cual una unidad lógica algorítmica ejecuta un programa cargado secuencial, es decir, línea por línea, un FPGA puede ser programado de forma tal que cada proceso se ejecute en forma independiente y paralela, dotando al sistema de una mayor velocidad en el procesamiento.

De esta forma, un diseñador puede manipular un volumen mucho mayor de datos, que a los efectos de la adquisición y medición de imágenes, resulta más adecuado.

Pero como ya se mencionó con anterioridad, la obtención de datos por sí misma no le otorga al científico la información, y por ende, el conocimiento nuevo que desea. Para ello, es probable que este gran flujo de datos requiera de un procesamiento y análisis más exhaustivo de los mismos.

Es por esto que la PC *Personal Computer* se ha transformado en la herramienta indispensable en

cualquier ámbito, pero en especial en los entornos en donde se requiere el manejo, calculo, procesamiento y análisis de grandes cantidades de informacion de diferentes índoles.

Desde la inclusión de la norma USB, en el año 1996 a la fecha, se ha convertido en el elemento que no falta en ningun equipo, al punto tal que ha desplazado a cualquier otro conector. Al punto tal es esto, que para requerir algún puerto adicional que no sea de esta norma, cualquier compardor debe especificar que así sea, mas o es necesario especificar que tiene USB como norma de conexión.

Este trabajo, pretende elaborar una interfaz entre los dos extremos, es decir, entre la PFGA y la PC, de forma tal que permita a un desarrollador, investigador o usuario en general, obtener una comunicación confiable y con un ancho de banda que permita mover el flujo de datos que genera una sensor que adquiera imágenes.

Es cierto que el protocolo puede ser totalmente implementado en una FPGA, sin embargo, esto requeriría un muy alto costo tanto económico como en recursos disponibles del chip programable para una tarea genérica que es mejor elaborar con un circuito integrado diseñado especialmente para tal fin. Es por esto que se utiliza como lazo de interfaz un chip comercial elaborado por Cypress Semiconductor.

## Capítulo 2

# Interfaz entre FPGA y PC

Como interfaz entre la FPGA y la PC se utilizó la placa de desarrollo CY3684 FX2LP EZ-USB Development Kit de Cypress Semiconductor. Esta placa posee como núcleo un CY7C68013A, circuito integrado que posee todas las herramientas necesarias para realizar la interfaz, como así también un buen número de periféricos que permiten al desarrollador realizar pruebas y depuración.

Entre estas, se pueden mencionar 6 pulsadores, de los cuales cuatro se utilizan para propósito general, uno para reestablecer los valores por defecto de la placa y uno para enviar señales de suspensión y reestablecimiento del programa actualmente cargado en el microcontrolador. A su vez, posee dos memorias EEPROM que sirven para cargar firmware y archivos de configuración del sistema, un display de 8 segmentos, 4 leds de multiple propósito, dos puertos UART, una salida de pines compatible con puertos ATA y 6 puertos de 20 pines que se utilizan para la conexión hacia el chip núcleo. Como soporte para el firmware, posee también un bloque de 64 kb de memoria SRAM.

Se seleccionó este controlador como interfaz con el objetivo de utilizar la menor cantidad de los recursos configurables de la FPGA, de forma tal que estos queden disponibles para el desarrollo de los sistemas que necesiten los potenciales sensores que se desee leer a posteriori.

A continuación se describe en detalle la arquitectura y las funciones del CI CY7C68013A, la configuración de funcionamiento escogida, y el desarrollo del firmware en base al framework provisto por Cypress que facilita la implementación de periféricos.

### 2.1. Arquitectura y Funciones del CY7C68013A

El núcleo del Kit de Desarrollo FX2LP EZ-USB es un CY7C68013A. Dicho circuito integrado, cuya arquitectura se presenta en la Figura 2.1. Los chips de la familia FX2LP integran un transceptor USB, un SIE *Serial Interfaz Engine*, buffers de datos, un microcontrolador 8051 mejorado y una interfaz programable hacia los periféricos. Además posee un PLL y un divisor configurable a través de los cuales provee al sistema de las señales de reloj adecuadas para el correcto funcionamiento del sistema.

Esta arquitectura permite al usuario transmitir datos desde y hacia la PC desde el mismo puerto USB, o bien via RS-232, desde la PC. A la hora de comunicarse con sistemas periféricos se puede aprovechar el puerto I2C, la interfaz de propósito general o una interfaz esclavo que puede ser conectada a un sistema maestro. Esto brinda muchas alternativas, desde la conexión a puertos estándar, como ser ATA, PCMCIA o EPP, o también la conexión de dispositivos tales como DSP's y FPGA's.



La comunicación USB es llevada a cabo a través del transceptor, unido al SIE. Como se observa en la Figura 2.2. El usuario, a fin de intercambiar datos, solo debe colocar o extraer los datos de registros destinados a tal fin y modificar las banderas de handshaking, que en la figura se observan como ACK (abreviación del inglés *acknowledge*, que significa reconocer, aceptar o agradecer), que indican si el sistema está disponible, si los datos fueron colocados o leídos, dependiendo el caso tratado. El SIE y el transceptor USB se encargan de empaquetar, enviar, recibir y desempaquetar toda la información, así como leer los tokens que emite el host, calcular y corroborar los códigos cíclicos de detección de errores y todo lo relacionado al protocolo en sí.

El esquema de bus permite utilizar el microcontrolador 8051 para procesar datos, hacer control de errores, empaquetar datos de una forma particular, generar datos nuevos, entre otras, o bien, simplemente enviar datos desde un periférico de forma directa al SIE y luego transmitirlos a la PC por la tubería USB.

Para este trabajo final, se configuró el funcionamiento del EZ-USB en modo esclavo, conectando al maestro, la FPGA, a la memoria FIFO destinada para tal fin. Por lo que se describirá en detalle a continuación.

Al poseer el sistema un SIE, que es un serializador de datos, la memoria FIFO de 4kB es usada por el sistema como buffer. Se conecta de forma directa a los periféricos y es configurable, lo que permite al usuario disponer del espacio conforme requiera las necesidades de ancho de banda de los sistemas diseñados, evitando así las congestiones en casos de mucho flujo de datos. En el otro extremo, puede ser conectada al tubo USB o al microcontrolador, dirigiendo los datos directamente a la PC o realizando alguna acción sobre ellos antes de enviarlos, respectivamente.

El sistema FX2LP permite configurar los buffers conforme la se ve en la Figura 2.3. Es de destacar que en cualquiera de las configuraciones posibles, se tiene al menos dos buffers

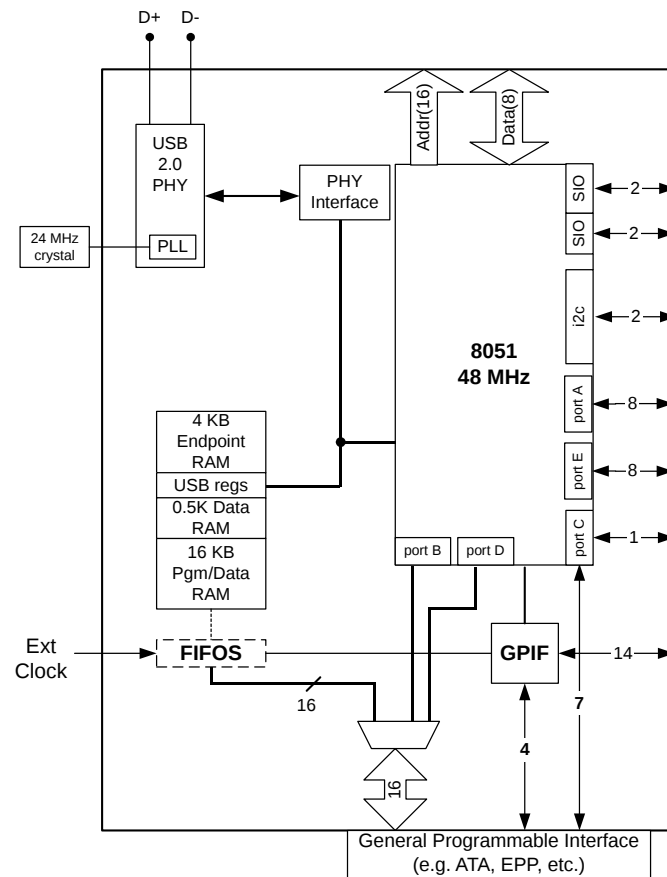


Figura 2.1: Arquitectura FX2LP

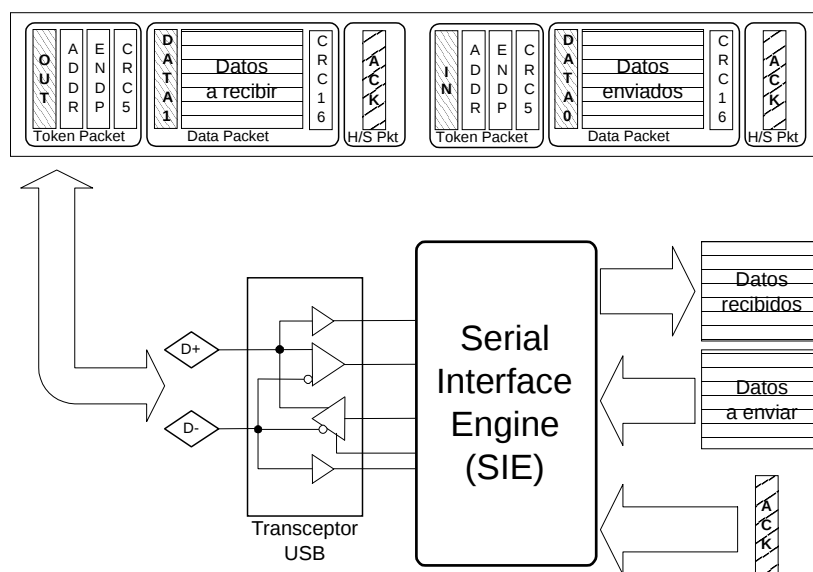


Figura 2.2: Implementación del enlace USB realizado por el EZ-USB

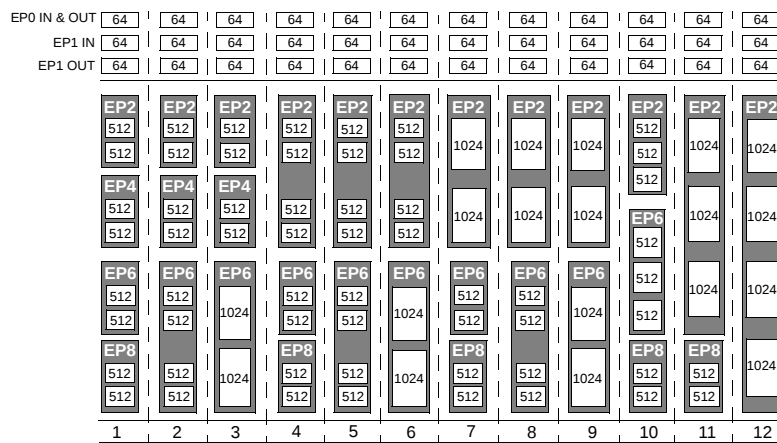


Figura 2.3: Configuraciones admitidas para los buffers de los diferentes periféricos