

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Sistema basado en FPGA para el control de actuadores por IP en aplicaciones de domótica

Wilmer Alezander Gutiérrez Giraldo

Ingeniería Electrónica

Luis Fernando Castaño Londoño

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

11/07/2016

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En el siguiente informe se presenta la implementación de la comunicación entre una tarjeta basada en FPGA (ZedBoard) y un Dispositivo IP (Actuador) mediante una conexión Ethernet. El actuador consta de un módulo de relevos con dos estados lógicos (abierto y cerrado) y un puerto Ethernet para la comunicación por medio del protocolo de comunicación TCP/IP. Una vez establecida comunicación entre los dos equipos se realiza el envío de datos desde la tarjeta FPGA al actuador con el fin de abrir o cerrar los contactos de este. Esta acción se realiza por medio de un sistema operativo embebido (Petalinux) instalado en la ZedBoard en el cual se ejecuta un *script* que permite el envío y recepción de datos desde un dispositivo a otro.

Con las pruebas realizadas se establecen los parámetros de red permitidos para la comunicación entre la tarjeta FPGA y el actuador IP por medio del protocolo Telnet que trabaja dentro del protocolo TCP/IP.

Palabras clave: FPGA, Telnet, TCP/IP, Script, Actuador, Relevos, Router

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

En estas líneas primeramente agradecer a Dios por permitirme alcanzar este logro personal y profesional, a mi madre por creer en mí y día a día ser parte clave en todos los procesos de mi vida. Agradecer a los docentes que hicieron parte de este proceso de formación especialmente a la profesora Norma Guarnizo quien aportó demasiado a nivel educativo y personal, al profesor Luis Castaño por permitirme realizar este trabajo bajo el acompañamiento suyo y por los conocimientos transmitidos en todo este proceso. Agradecer a Diego Arenas quien ha sido una ayuda demasiado importante como amigo y compañero, Alejandra Bedoya quien ha sido pieza fundamental a nivel emocional desde el inicio de mis estudios hasta el final y a todas aquellas personas, Amigos, conocidos y demás que aportaron a todo este proceso.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

MIRP Máquinas Inteligentes y Reconocimiento de Patrones

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol

FPGA Field Programmable Gate Arrays

ASICs Application Specific Integrated Circuits

LAN Local Area Network

DHCP Dynamic Host Configuration Protocol

HTTP Hypertext Transfer Protocol

TELNET Telecommunication Network

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	8
3. METODOLOGÍA.....	10
3.1. Configuración de la red LAN	10
3.2. Configuración del actuador	11
3.3. Configuración ip de la tarjeta ZedBoard.....	14
3.4. Elaboración del Script en Petalinux.....	15
3.5. Configuración sensor IP	16
3.6. Envío de información de la ZedBoard al actuador	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	24
REFERENCIAS	26
APÉNDICE.....	27

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.INTRODUCCIÓN

La domótica ha evolucionado a gran escala con el paso del tiempo y con ella todos los sistemas empleados han sufrido las transformaciones necesarias para suplir las necesidades del medio. La gran mayoría de estos desarrollos utilizan sistemas controladores basados en FPGA. Estos son diseñados de acuerdo a una aplicación específica y cuentan con software propio del fabricante lo que implica que no es disponible al público. Por esto es difícil realizar desarrollos sobre estos sistemas al no conocer a fondo el código fuente de las tarjetas y/o procesadores.

En la implementación de este trabajo se emplea un sistema de desarrollo que permite la instalación de un sistema operativo embebido Linux, el cual es de código abierto y no requiere adquirir licencia para la mayoría de sus aplicaciones. Facilita la configuración de una red de área local LAN con los controladores incluidos. Un dispositivo *router* asigna el direccionamiento IP que permite la interacción entre la tarjeta ZedBoard y el actuador IP. En una aplicación orientada a la domótica se establece una etapa denominada control final. Es la interacción que realiza el controlador para el proceso de automatización. En el proyecto se realiza la configuración del actuador IP como dispositivo final de control. El envío de datos se realiza desde la tarjeta Zedboard hacia el actuador IP utilizando como medio de comunicación el protocolo Ethernet en la red LAN.

Finalmente se ejecuta un *script* sobre el sistema operativo instalado en la ZedBoard indicando los parámetros de iniciación y finalización del envío de la trama de datos para el accionamiento del actuador IP.

El desarrollo de este trabajo sirve para ampliar un conocimiento en el desarrollo sobre tarjetas basadas en FPGA por medio del protocolo de comunicación Ethernet en aplicaciones como domótica e inmótica. Además sirve como insumo para el laboratorio de Sistemas de Control y Robótica orientado al desarrollo de trabajos de grado y proyectos de investigación.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el capítulo 2 se presenta el marco teórico referido a la comunicación a través de Ethernet entre la ZedBoard y un actuador IP. Con esto se pretende dar a entender con claridad los conceptos y términos utilizados en la elaboración de la misma. En el capítulo 3 se presenta la metodología utilizada para establecer la comunicación y control a través del protocolo Telnet entre la ZedBoard y el actuador IP. En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos de la comunicación obtenida entre la ZedBoard y el actuador IP. El capítulo 5 muestra las conclusiones obtenidas en la realización del proyecto. Finalmente se presentan las referencias y apéndices respectivamente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

El protocolo TCP/IP se define como un conjunto de reglas que determinan la forma en que se realiza el intercambio de datos entre dos dispositivos. Por medio de éste, los dispositivos interconectados en una red pueden “hablar” un lenguaje común, independientemente del tipo que sea o del sistema operativo que utilice (Barroso y Martínez, 2016).

El protocolo TCP/IP es utilizado como base para otro tipo de protocolos de red empleados en la actualidad. Los protocolos de este nivel más conocidos y más antiguos son el FTP para la transferencia de archivos, el SMTP para correo electrónico y TELNET para terminal virtual (Crespo y Candelas, 1998). En la ejecución del proyecto se utiliza una conexión TELNET que es un protocolo mediante el cual se realiza el control remoto de una máquina o equipo conectado a una red cableada.

Ethernet es un Protocolo de comunicación mediante el cual se rigen los equipos que trabajan en redes cableadas, se le conoce además como el estándar IEEE 802.3 (Bermudez, J., 2012). Todos los equipos conectados a través de un cable de red o también conocido como *patchcore* forman una red LAN que permite la comunicación entre varios dispositivos con el fin de compartir información. La tarjeta ZedBoard y el Actuador IP se comunican mediante un *router* creando una red LAN.

Un sistema domótica cuenta con una serie de etapas en su desarrollo y una de estas es la etapa de control. Esta es en la que el controlador envía por medio de un protocolo de comunicación definido los comandos necesarios para accionar un dispositivo final de control.

Se hace necesario el entender y comprender los dos tipos de sistemas embebidos empleados en el desarrollo de este trabajo. Por una parte se tienen los sistemas basados en FPGA, los cuales son dispositivos programables que se basan en bloques lógicos y de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

interconexión, que pueden ser configurados mediante un lenguaje específico especializado (National Instruments, 2011). Existen diversos fabricantes de este tipo de tarjetas. Los dispositivos utilizados en el desarrollo del proyecto son desarrollados por la empresa Xilinx. Esta fue la primer empresa en crear este tipo de tarjetas cuya funciona principal la cumplen a nivel industrial. Son utilizadas a gran escala debido a que combinan lo mejor de los ASICs y de los sistemas basados en procesadores (National Instruments, 2011). Existen diversas versiones de tarjetas basadas en FPGA como lo es la ZedBoard.

La ZedBoard es una placa de desarrollo de bajo coste que contiene en su interior el SoC Zynq-7000 . Esta placa está fabricada por los fabricantes de dispositivos electrónicos Avnet y Digilent, existen diferentes versiones de la placa: Avnet fabrica una placa para uso profesional y Digilent para un uso académico. (Castrejón, 2013, p.34).

Por otra parte se cuenta con los sistemas Arduino, los cuales se basan en una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar (Arduino.cc, 2016).

En el desarrollo del proyecto se emplea un sistema operativo y se define este como un programa que actúa de intermediario entre el usuario y el hardware de un sistema de cómputo (Candela, 2007). El propósito de un sistema operativo es ofrecer un ambiente en el que el usuario pueda ejecutar programas de una forma cómoda y eficiente. Existen diferentes tipos de sistemas operativos los cuales se utilizan según las necesidades y facilidades de los usuarios. En la actualidad de los sistemas operativos más conocidos se encuentran Windows, propiedad de la empresa Microsoft, también se encuentra OS X el cual es propiedad de la compañía Apple, y también se encuentra Linux el cual es denominado como software libre y por ende existen diferentes versiones para distintos tipos de desarrollo, este último al ser software libre se no tiene costo alguno, por lo que es el más utilizado en entornos de desarrollo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

La implementación de este trabajo es realizada empleando sistemas de desarrollo ZedBoard el cual está basado en un SoC FPGA. Esta placa es utilizada normalmente con fines educativos por la cantidad de periféricos que maneja y debido a su diseño. Se programa por medio del Software Vivado, propiedad de la compañía Xilinx. Se utiliza la ZedBoard en el proyecto debido a que esta entre sus periféricos cuenta con un puerto de comunicación Ethernet.

El Actuador IP en el proyecto es el elemento final de control. En este sentido es el dispositivo al cual la tarjeta ZedBoard envía la información necesaria para su accionamiento y cambio de estado, el actuador utilizado en el desarrollo del trabajo es un módulo de relevos, que cuenta con 8 Relevos, cuyo estado es abierto/cerrado.

Se realiza la conexión entre la tarjeta ZedBoard y el Actuador a través de una red LAN y enviar comandos que permitan accionar el actuador, todo esto a través de conexión TELNET. Se realizan los siguientes pasos

1. Configuración de la red LAN
2. Configuración del actuador
3. Configuración IP de la tarjeta ZedBoard
4. Elaboración del Script en Petalinux
5. Configuración Sensor IP
6. Envío de información de la ZedBoard al Actuador

3.1. Configuración de la red LAN

Se realiza la configuración Ethernet para la conexión entre la ZedBoard y el actuador con el fin de realizar la comunicación y envío de la trama de datos, en la configuración de la red

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ethernet se tienen en cuenta ciertos aspectos y parámetros, uno de ellos es la dirección IP v4 (Internet Protocol Version 4). La IP v4 es una secuencia lógica de 32 bits representada como una secuencia de 4 números entre 0 y 255 separados por puntos, es conocido como formato decimal punteado (Barbancho, 2014). Se configura también otro parámetro de red llamado máscara de subred. Esta es la que determina el tipo de red que se emplea. Existe otro parámetro utilizado en redes LAN, la puerta de enlace o Gateway. Es la que permite a la red LAN navegar en internet.

Existen varias formas de generar una red LAN, la primera es mediante la configuración de la tarjeta de red de cada dispositivo, para lo cual se deben configurar los parámetros anteriormente mencionados. La segunda forma y la más óptima es a través de un router que asigne el direccionamiento por DHCP a los equipos. DHCP al direccionamiento dinámico en los equipos conectados al router. En la realización de la práctica se utilizó un router.

Los parámetros empleados en el desarrollo del sistema fueron los siguientes:

Direccionamiento IP: este quedó en el rango 192.168.1.1 hasta 192.168.1.254

Máscara de Subred: 255.255.255.0

Puerta de enlace: 192.168.1.254 (No necesaria para el desarrollo de la práctica ya que los equipos no necesitan navegar)

3.2. Configuración del actuador

El actuador es el dispositivo final de control que es accionado por la ZedBoard. Este es módulo de relevos diseñado con Arduino al cual se le debe enviar una cadena serial (trama de datos) para accionar los relevos. Se realiza la configuración IP del dispositivo mediante un archivo ejecutable proporcionado por el fabricante del dispositivo, al abrir este indica que se debe conectar el dispositivo al puerto serial USB .

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

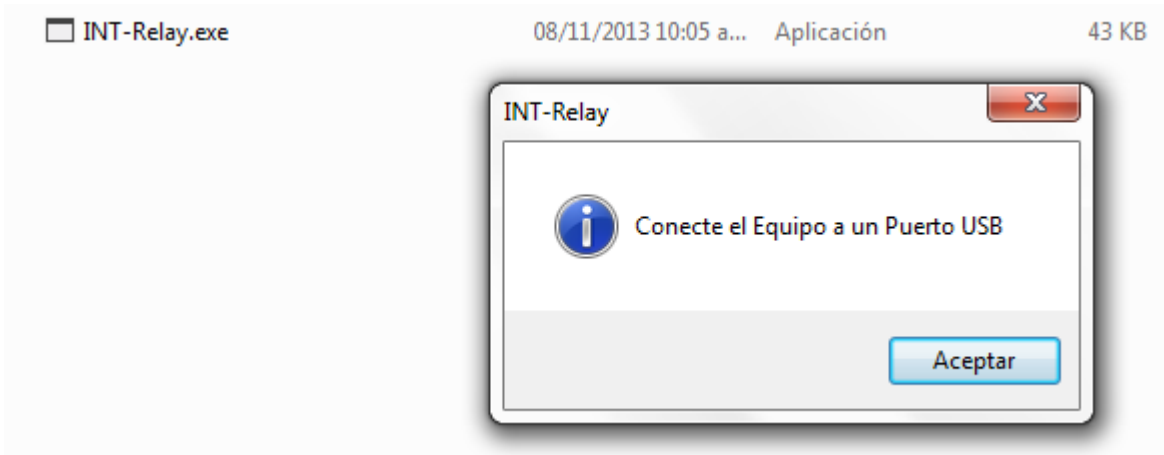


Imagen 1 Software de configuración del actuador

Al conectar el dispositivo mediante puerto USB al computador se visualiza la interfaz de configuración del módulo de relevos. Se presiona el botón *Initialize* tal cual lo indica la siguiente imagen

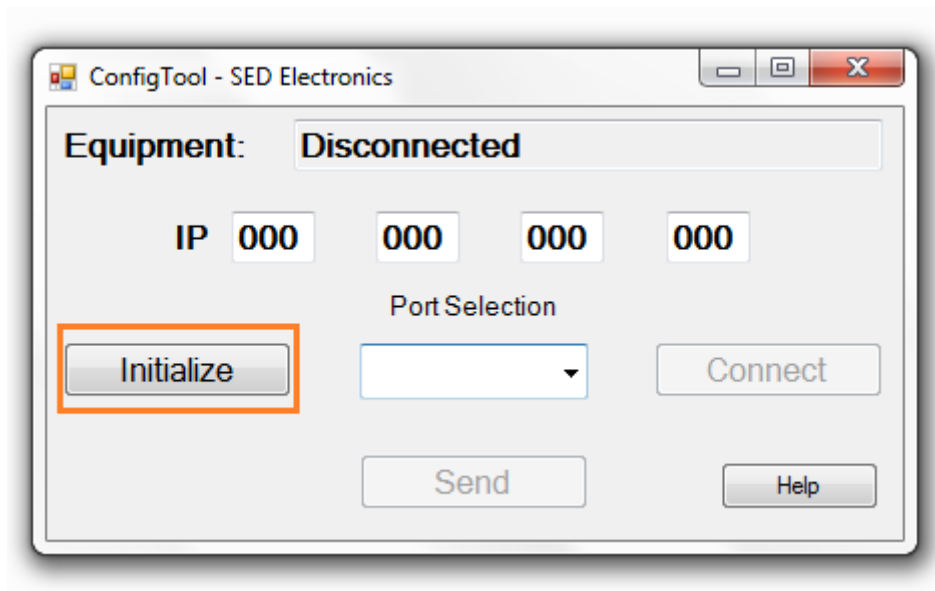


Imagen 2 Interfaz de configuración del actuador

Al pulsar el botón “Initialize” se visualiza en el espacio en blanco el puerto COM (puerto serial del computador) en el cual el actuador se conecta. Realizado esto el botón “Connect” se habilita

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

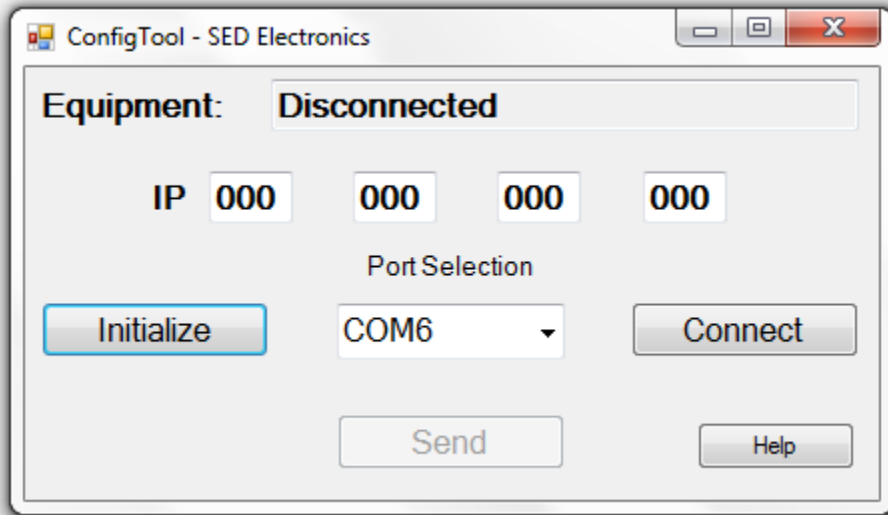


Imagen 3 Puerto COM asociado al actuador

Se presiona el botón “Connect”. Se visualiza un mensaje con las instrucciones para ingresar el actuador al modo configuración.

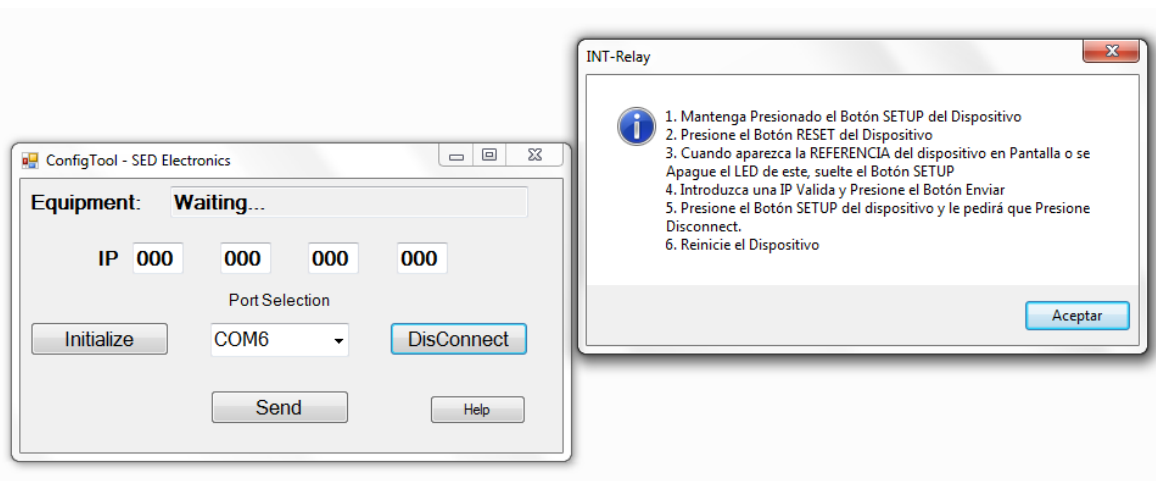


Imagen 4 Instrucciones para ingresar el actuador al modo configuración

Se le asigna al dispositivo una dirección IP. Se presiona *Send* y así el dispositivo queda configurado y listo para la recepción de las tramas de datos que permitan su accionamiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

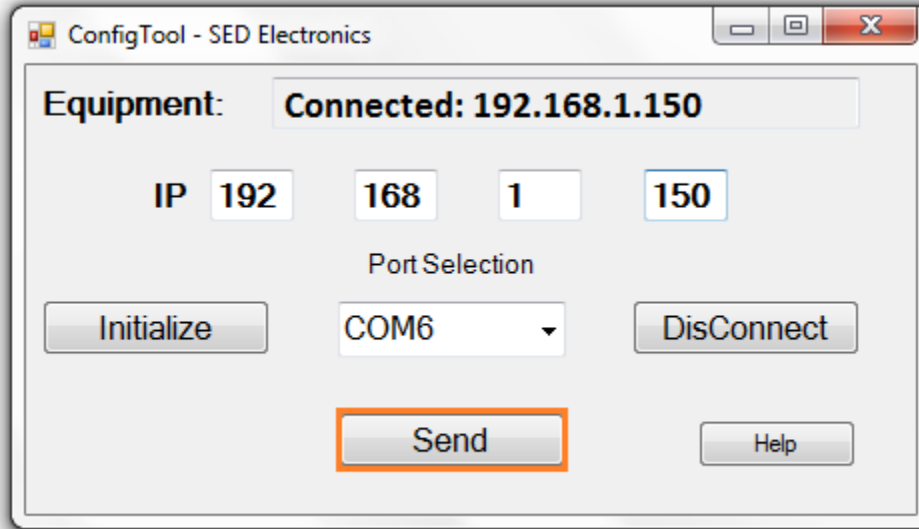


Imagen 5 Configuración IP actuador

Adicional a la configuración que se realiza al actuador, este cuenta con un puerto de control mediante el cual se permite la recepción y la ejecución de las cadenas seriales que se envían desde un controlador, el puerto asignado por el diseñador del equipo es el puerto 225, así que se debe en la conexión.

Además de la dirección ip del actuador se debe ingresar el número de puerto para que así, tanto la ZedBoard como el actuador identifiquen el puerto por el cual se comunicarán.

3.3. Configuración IP de la tarjeta

ZedBoard

Al conectar la ZedBoard al router mediante un cable de red se visualiza la dirección IP que por defecto es asignada.

En el sistema operativo instalado en la ZedBoard se realiza el Script que permita la comunicación de la tarjeta con el actuador. Se realiza escribiendo la siguiente línea **TeInet**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Dirección-ip-actuador Número de puerto. el puerto es asignado de fábrica por el diseñador del actuador y es mediante este que se realiza el control, como se muestra en la siguiente imagen.

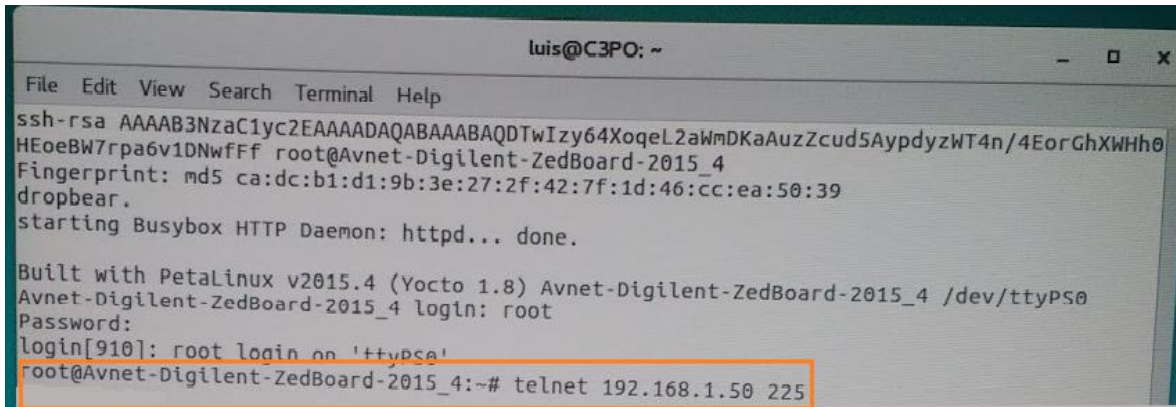


Imagen 6 Conexión Telnet entre la ZedBoard y el actuador

Lo anterior se debe realizar para establecer la comunicación entre la ZedBoard y el actuador y así iniciar el envío de la trama de datos que permita accionar los relevos.

La comunicación se realiza a través de conexión TELNET.

3.4. Elaboración del Script en Petalinux

Mediante una conexión telnet se establece la comunicación entre la ZedBoard y el actuador para su interacción. Se instala un sistema operativo (Linux) en la ZedBoard por medio de la guía ubicada en la página de www.embeddedcentric.com, en la opción de sistemas operativos. El sistema operativo es a nivel de consola (No cuenta con interfaz gráfica).

Mediante el Script en el sistema operativo instalado en la ZedBoard se realiza la configuración de comunicación entre. Se establece comunicación entre la tarjeta FPGA y el actuador IP con la siguiente línea **Telnet Dirección-ip-actuador Número de puerto**. La palabra Telnet determina el tipo de conexión se realiza, por esto debe ser el encabezado de la línea. Se escribe luego la dirección IP del actuador y de esta manera se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

empieza a especificar más a fondo que es lo que se quiere realizar, se sabe que se desea realizar una conexión Telnet con un dispositivo y mediante la dirección IP se sabe exactamente con cual dispositivo se desea realizar dicha comunicación. Finalmente el Número de puerto especifica a la ZedBoard la ruta por la cual el actuador interactúa con otros dispositivos. Con esto se tiene la parametrización necesaria para la conexión entre los dos equipos.

Una vez realizado lo anterior, se realiza en el Script en Petalinux. Esto consiste en escribir la trama de datos necesaria para accionar el actuador y al presionar la tecla Enter del computador esta es enviada. El actuador debe accionar sus relevos una vez reciba la información enviada desde la ZedBoard. Una vez realizado esto se cierra la conexión entre ambos equipos de forma automática por el actuador, como se puede ver en la siguiente imagen.

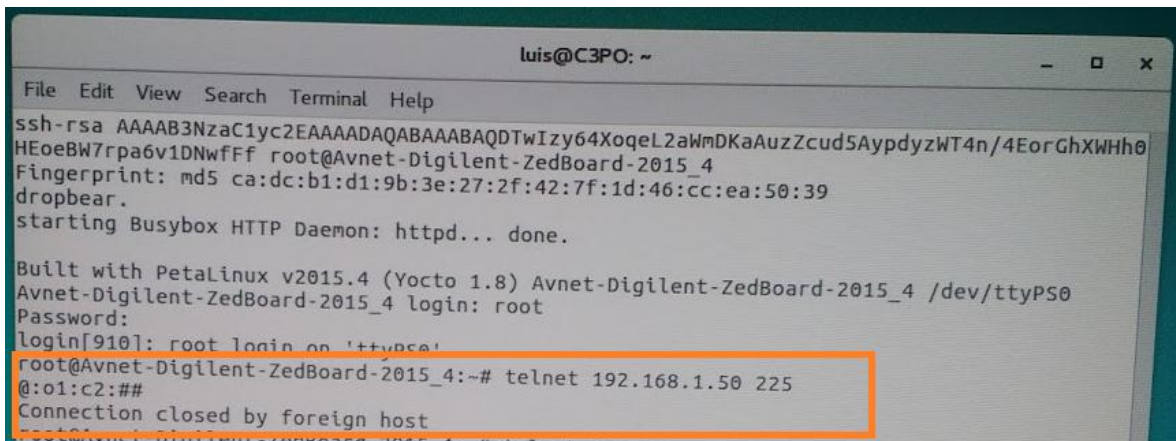


Imagen 7 configuración y envío de dato

3.5. Configuración sensor IP

En el sistema se requiere además del envío de los datos desde la ZedBoard al actuador, se requiere recibir la información de un sensor a través de IP, por lo que se utiliza un dispositivo Arduino Uno con un Shield Ethernet que permita la lectura de un sensor mediante su entrada analógica A0 y envíe el dato por medio de la red Ethernet.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Este procedimiento se realiza directamente en el Arduino, e instalando en el computador Arduino, que se descarga directamente de la página del fabricante. Se ejecuta el programa ejemplo webserver, ubicado en el grupo Ethernet del software.

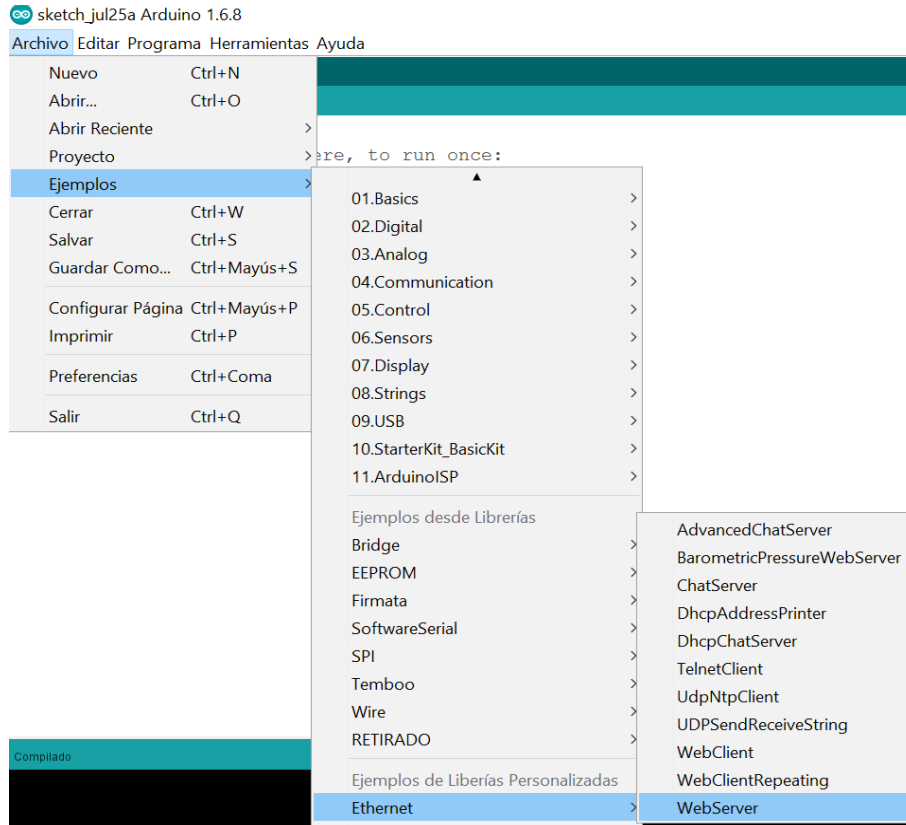


Imagen 8 Cargar ejemplo webserver desde el programa Arduino

Sobre este código se realizan las modificaciones necesarias para la lectura del sensor LM35 (Sensor utilizado) conectado al Arduino en la entrada analógica A0.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

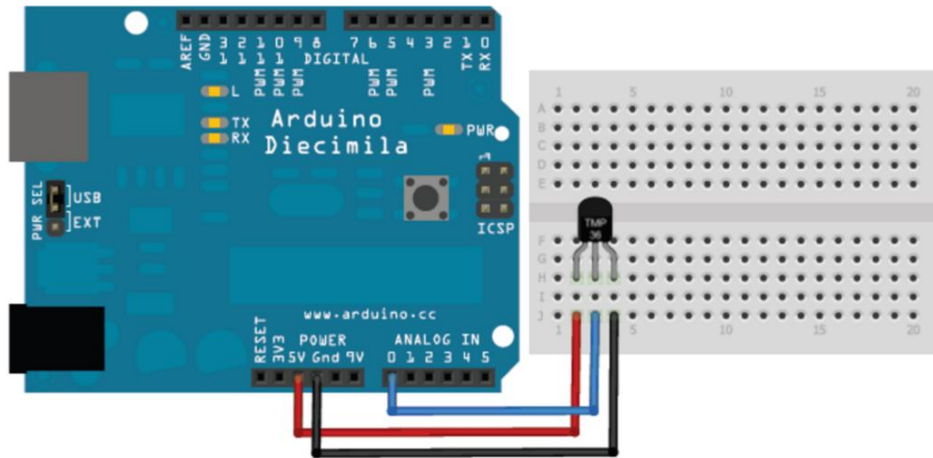


Imagen 9 Conexión física del sensor LM 35 al Arduino.

Sobre el programa ejemplo se realiza la modificación necesaria para la adquisición del dato por medio del sensor LM35.

```

Proyecto_de_grado. Arduino 1.6.8
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Proyecto_de_grado 9

int sensorReading = analogRead(A0);
//client.print("Entrada Analoga 0 es: ");

float mV = (sensorReading/1024.0)*500; // Valor de escala , entre 1 - 1024 por el conversor AD, al dato leído del puerto A0, por el sensor, entre 0
float Celcius = mV/10; // El valor escalizado se divide en 10 para obtener la condicion del sensor: por cada mV corresponde a 1°C
client.print(Celcius);
client.println("<br />");

```

Imagen 10 Modificación al programa ejemplo

Una vez se realiza esto, y se realizan pruebas, se procede a realizar la lectura de la temperatura arrojada por el sensor mediante un Script realizado en el PetaLinux, esta conexión se realiza escribiendo la dirección ip que tiene el sensor en el Scrip con el encabezado http, es decir **http:// Dirección IP Sensor**, como la conexión es a través de HTTP, esta también maneja un puerto específico que es el 80, por lo que el Script en la conexión luego de la dirección ip añadirá el puerto de la siguiente manera **Dirección ip Sensor:80**, realizada la conexión la respuesta que se puede visualizar es el reporte de la temperatura enviada desde el sensor, como se ilustra en la siguiente imagen

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

root@Avnet-Digilent-ZedBoard-2015_4:~# wget http://192.168.1.150
Connecting to 192.168.1.150 (192.168.1.150:80)
index.html 100% |*****
root@Avnet-Digilent-ZedBoard-2015_4:~# cat index.html
</html>
257<br /> ← Dato sensor.
</html>

```

Imagen 11 Configuración Script y toma de datos del sensor

3.6. Envío de información de la ZedBoard al actuador

Una vez realizada toda la configuración de los dispositivos y todos sus parámetros se procede con el envío de la información desde la ZedBoard al actuador y se monitorea los cambios de estado en este.

Al actuador se envían códigos que permitan la apertura o cierre de los contactos que lo componen de la siguiente manera: Para cerrar un contacto se utiliza la letra "o" y para abrir se utiliza la letra "c", en minúsculas, todo esto precedido de un encabezado con los caracteres @: , y se finaliza la trama con los caracteres :## , por ejemplo, si se desea cerrar el contacto 1 se debe enviar al actuador el siguiente dato @:o1:## para abrir este mismo se procede con la siguiente línea @:c1:##.

Una vez realizada la conexión entre la ZedBoard y el actuador se envía la trama de datos desde la FPGA. Por medio del software *DockLight scripting V2.1* descargado desde la página de internet www.docklight.de se monitorea el estado de cada relevo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para saber el estado de los relevos del actuador se envía el comando **@REQUEST** y de inmediato la respuesta será el estado de cada uno de las relevos que componen el actuador, como se ilustra en la siguiente imagen

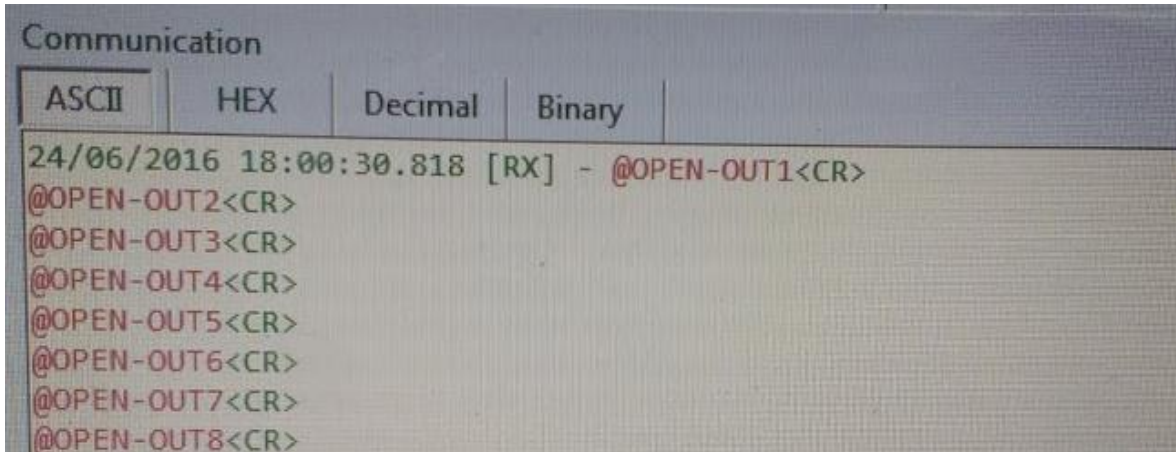


Imagen 12 Estado inicial de los Relevos del actuador

Se realiza la prueba desde la ZedBoard, estableciendo comunicación entre ambos dispositivos, enviando el dato y monitoreando el estado de los relevos en el actuador.

En la siguiente imagen se envía la trama de datos que permita cerrar los contactos 1 y 2 del actuador. La trama de datos es la siguiente: **@:o1:o2:##** así se cierran los relevos mencionados y los demás quedan en su estado inicial (abiertos) como lo muestran las siguientes imágenes

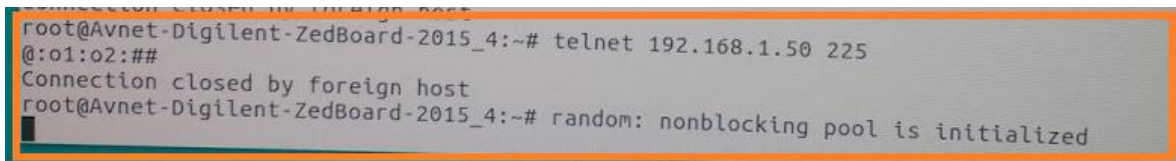


Imagen 13 Envío de comando al actuador desde la ZedBoard

Una vez enviada la línea de comandos, se procede a enviar el comando **@REQUEST** para saber el estado nuevo de los relevos del actuador

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

24/06/2016 18:00:30.819 DOCKLIGHT reports: Error on channel 192.168.1.50:225:
TCP/IP connection closed by the remote computer
24/06/2016 18:00:56.814 [TX] - @REQUEST
24/06/2016 18:00:57.169 [RX] - @CLOSE-OUT1<CR>
@CLOSE-OUT2<CR>
@OPEN-OUT3<CR>
@OPEN-OUT4<CR>
@OPEN-OUT5<CR>
@OPEN-OUT6<CR>
@OPEN-OUT7<CR>
@OPEN-OUT8<CR>

```

Imagen 14 Estado de los relevos del actuador una vez haber recibido el comando enviado por la ZedBoard

De esta manera se logra comunicación estable entre los dispositivos en cuestión y el envío de los comandos es recibido, y aceptado por los mismos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la realización del proyecto se logró establecer comunicación entre la ZedBoard y actuador IP, mediante su puerto de conexión Ethernet, con el protocolo de comunicación Telnet el cual trabaja a través de TCP/IP.

En la configuración Ethernet se establece en un principio generar un servidor DHCP desde un computador del laboratorio O2, pero en la creación de este se tuvieron problemas debido a que no reiniciaba el servidor DHCP del dispositivo, por lo que se optó en segunda instancia utilizar un router el cual realiza la asignación de las direcciones IP a los equipos que conforman la red local, de esta forma se logró de forma más rápida la configuración de cada equipo para su posterior interconexión.

La realización del Script tuvo que ser estudiada debido a que no se sabía a ciencia cierta si el sistema operativo (PetaLinux) permitía realizar el Script en su consola, una vez realizada esta prueba y que se determinara que era posible realizar el Script se realizaron las respectivas pruebas de comunicación y control. El sistema operativo cargado en la ZedBoard se ejecuta desde una Tarjeta SD (Secure Digital), y este no permite que se carguen más configuraciones de las que vienen preestablecidas, lo que provoca que al apagar la ZedBoard se pierden los datos del Script realizado, por lo que cada vez que se desea realizar la prueba se debe realizar nuevamente el Script.

Se establece comunicación entre la tarjeta ZedBoard y el actuador IP, permitiendo así en control del actuador por medio de conexión IP, utilizando el protocolo de comunicación TELNET. Como se muestra en las siguientes imágenes

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

Communication
+-----+-----+-----+-----+
| ASCII | HEX   | Decimal | Binary |
+-----+-----+-----+-----+
24/06/2016 18:00:30.818 [RX] - @OPEN-OUT1<CR>
@OPEN-OUT2<CR>
@OPEN-OUT3<CR>
@OPEN-OUT4<CR>
@OPEN-OUT5<CR>
@OPEN-OUT6<CR>
@OPEN-OUT7<CR>
@OPEN-OUT8<CR>

```

Imagen 15 Estado de relevos antes de la recepción de la trama de datos

```

root@Avnet-Digilent-ZedBoard-2015_4:~# telnet 192.168.1.50 225
@:01:02:##
Connection closed by foreign host
root@Avnet-Digilent-ZedBoard-2015_4:~# random: nonblocking pool is initialized

```

Imagen 16 Conexión de la ZedBoard y el actuador y envío de la trama de datos

```

24/06/2016 18:00:30.819 DOCKLIGHT reports: Error on channel 192.168.1.50:225:
TCP/IP connection closed by the remote computer
24/06/2016 18:00:56.814 [TX] - @REQUEST
24/06/2016 18:00:57.169 [RX] - @CLOSE-OUT1<CR>
@CLOSE-OUT2<CR>
@OPEN-OUT3<CR>
@OPEN-OUT4<CR>
@OPEN-OUT5<CR>
@OPEN-OUT6<CR>
@OPEN-OUT7<CR>
@OPEN-OUT8<CR>

```

Imagen 17 Estado de relevos luego de la recepción de la trama de datos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Se establece la comunicación a través de IP entre la ZedBoard y el Actuador IP mediante una Red Local creada a partir de un *router*. Se logra interacción entre ambos dispositivos mediante una conexión a través del protocolo TCP/IP.

Se configuran los parámetros necesarios para la recepción de comandos del actuador por medio de la red LAN. Se logra el control del actuador por medio de una trama de datos enviada desde la ZedBoard.

Se instala un sistema operativo embebido (Petalinux) sobre la ZedBoard. Se ejecuta sobre este el *script* mediante el cual se realiza la comunicación y envío de datos por medio del protocolo TELNET entre la tarjeta ZedBoard y el actuador

El desarrollo de software a nivel de domótica ha crecido constantemente y con este trabajo se realiza un aporte a nuevos y futuros desarrollos en este campo de aplicación a través de Ethernet.

Con la realización de este trabajo se establece un punto inicial para todas aquellas personas que en el laboratorio de Sistemas de control y robótica deseen desarrollar proyectos basados en FPGA (ZedBoard), más exactamente, proyectos basados Ethernet debido a que se establecen ciertos parámetros y protocolos sobre los cuales la ZedBoard trabaja perfectamente. Existen muchos campos de aplicación para lo desarrollado, como lo es la domótica y por ende es una carta abierta para quienes quieran profundizar en estos temas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que hoy por hoy son tendencia a nivel mundial, trayendo consigo que la tecnología avanza y las comunicaciones a través de las redes se hace cada vez más necesaria.

Con el desarrollo de este proyecto se deja un parámetro establecido en comunicación entre la ZedBoard con un dispositivo Ethernet para comunicación y control. Esto se puede utilizar en futuros trabajos de profundización en el control de sistemas por medio de una red Ethernet

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Arduino.cl. (2016). *¿Qué es Arduino? ~ Arduino.cl.* [online] Available at: <http://arduino.cl/que-es-arduino/> [Accessed 25 Jul. 2016].
- Arduino.cc. (2016). *Arduino - Home.* [online] Available at: <https://www.arduino.cc/> [Accessed 2 Aug. 2016].
- Barbancho Concejero, J. (2014). *Redes locales.* Madrid: Paraninfo, p.107.
- Embedded Centric. (2015). *Embedded Operating Systems.* [online] Available at: <https://embeddedcentric.com/embedded-operating-systems/> [Accessed 2 Aug. 2016].
- Barroso, J. y Martínez, A., (2016). *Protocolo TCP/IP.* [online] Available at: http://tecnologiaedu.us.es/cursos/29/html/cursos/tema7/cont_2.2.htm [Accessed 25 Jul. 2016].
- Bermúdez Luque, J. (2012). *Montaje de infraestructuras de redes locales de datos.* Madrid: IC Editorial.
- Candela Solá, S. (2007). *Fundamentos de sistemas operativos.* Madrid [etc.]: Thomson.
- Castrejón Torrejón, J. (2013). *Evaluación y desarrollo de módulo hardware en SoC programable* (Tesis de Pregrado) Universidad Carlos III de Madrid.
- Crespo Martínez, L. and Candelas Herías, F. (1998). *Introducción a TCP/IP.* [Alicante]: Universidad de Alicante, p.111.
- Ni.com. (2016). *Introduction to FPGA Technology: Top 5 Benefits - National Instruments.* [online] Available at: <http://www.ni.com/white-paper/6984/es/#toc1> [Accessed 25 Jul. 2016].


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

APENDICE A: Script en Petalinux

```
>  
>  
Telnet 192.168.0.50 //Presionar Enter luego de esta linea  
@:o1:o2:## //Comando que cierra los contactos 1 y 2  
>  
>
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	MODALIDAD TRABAJO DE GRADO PRODUCTO OBTENIDO EN TALLERES O LABORATORIOS DEL ITM	Código	FDE 146
	Registro de actividades y cumplimiento de horas / Talleres o Laboratorios de DOCENCIA	Versión	02
		Fecha	2015-09-30

Documento de identidad:	1020448833		
Nombre completo del estudiante:	WILMER ALEZANDER GUTIERREZ GIRALDO		
Programa académico ITM:	INGENIERIA ELECTRONICA		
Nombre completo del Docente Asesor:	LUIS FERNANDO CASTAÑO LONDOÑO		
Fecha de iniciación del producto (aaaa/mm/dd):	2016-03-07	Fecha de terminación del producto (aaaa/mm/dd):	2016-06-17
Nombre Taller o Laboratorio:	SISTEMAS DE CONTROL Y ROBOTICA		
Ubicación:	LABORATORIO BLOQUE O		
Campus:	FRATERNIDAD		

Fecha			Actividad desempeñada por el estudiante	Hora ingreso	Hora salida	Total horas	Firma Laboratorista	Firma Estudiante
A	M	D						
2016	Marzo	7	Introducción al uso de la tarjeta zedboard Xilinx Zynq®-7000, se explora información en el manual en cuanto a puertos que tiene el dispositivo y aplicaciones	18:00	20:00	2	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Marzo	10	El profesor explica como programar la tarjeta zedboard desde el vivado. Se realizan pruebas.	18:00	20:00	2	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Marzo	14	Se explora la pagina de embeddedcentric.com, se empieza a trabajar la guía embedded operating systems, para crear la imagen de un sistema operativo, linux, ejecutable para tarjeta SD que trae incluida la tarjeta zedboard. Se realiza descarga de instaladores desde la pagina del fabricante para los pasos propuestos en la guía.	11:00	15:00	4	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Marzo	28	Se avanza en la primera etapa de configuración de linux en el equipo de computo del laboratorio, estudiando los comandos de consola de linux, se crean las carpetas y se almacenan los archivos descargados de la pagina del fabricante en el directorio opt.	18:00	20:00	2	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Abril	4	Se estudia y se realiza la configuración del segundo paso para la compilación de un proyecto petalinux, se descargan librerías y se actualizan las políticas en el equipo de computo.	18:00	20:00	2	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Abril	9		11:00	15:00	4	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Abril	11	Se estudia, se descarga y se configura la terminal gtkterm, para la comunicación de la tarjeta zedboard con el equipo de computo del laboratorio.	18:00	20:00	2	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Abril	16	Se ejecuta el archivo petalinux para extraer las fuentes y códigos para la configuración del proyecto petalinux, que ejecuta el sistema operativo para luego crear la imagen ejecutable, es decir el archivo boot.	11:00	15:00	4	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Abril	18	Se crea el nombre al proyecto petalinux, se configuración las aplicaciones del sistema operativo a utilizar, como gpio-demo, que permite la interacción con la tarjeta zedboard desde la consola y el terminal gtkterm	18:00	20:00	2	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Abril	23		11:00	15:00	4	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Abril	25	Se comienza a crear la imagen del sistema operativo en formato sdk, y al momento de compilar genera error, que solicita la ubicación de un complemento para la imagen sdk.	18:00	20:00	2	<i>Luís F. Castaño</i>	WILMER GUTIERREZ


2016	Abril	30		11:00	15:00	4	<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Mayo	2	Se investiga el error, en foros y ejemplos, se determina que se debe cargar la ruta de los componentes del fabricante, que están en la carpeta llamada xilinx, luego de cargar la ruta indicada, se hacen pruebas exitosas para la compilación de la imagen ejecutable en la tarjeta SD.	18:00	20:00	2	<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Mayo	7		11:00	15:00	4	<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Mayo	14		Se copian los archivos BOOT.BIN en la tarjeta SD de la zedboard, se conecta al equipo de cómputo del laboratorio se verifica que corra el sistema operativo linux, este es por medio de consola, y se prueba la interacción con la aplicación gpio-demo, encendiendo los led y leyendo la información de los switches.	11:00	15:00	4	<i>W. Flórez</i>
2016	Mayo	16	Se empieza a trabajar la guía networked-systems de la página embeddedcentric.com, se repite la configuración para crear una nueva imagen de sistema operativo agregando las configuraciones de red.	18:00	20:00	2	<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Mayo	21	Se realiza la prueba con la nueva imagen ejecutable de sistema operativo, teniendo conectada una red lan entre el equipo del laboratorio y la tarjeta zedboard, se logra hacer ping entre los dispositivos y se configura el dhcp.	11:00	15:00	4	<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Mayo	23	Se realiza la conexión de un arduino a la tarjeta zedboard para adquirir la información del sensor y visualizarla por una conexión ethernet en la consola de la zedboard.	18:00	20:00	2	<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Mayo	25	Se realiza una rutina de procesos en la consola del sistema operativo ejecutado en la tarjeta zedboard, se hace el scrip con la lectura del dato y la visualización.	18:00	20:00	2	<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Mayo	28	Se investiga la forma de utilizar el ssh para el envío de datos por medio de la red lan y protocolo ethernet entre el dispositivo (Arduino) que actuará como sensor y la zedboard y así ejecutar una acción, respecto al dato leído del sensor, desde la tarjeta zedboard.	11:00	15:00	4	<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
2016	Junio	3		18:00	20:00	2	<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
2016			Después del 3 de junio se ha realizado conexión remota con los equipos conectados en el laboratorio para complementar la documentación de los formatos.				<i>W. Flórez</i>	WILMER GUTIERREZ
TOTAL HORAS								60

WILMER GUTIERREZ
Firma Estudiante

Luis Fernando Castaño Lozano
Nombre y firma Laboratorista

Nombre y firma Profesional Universitario - Centro de Laboratorios

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

FIRMA ESTUDIANTE: WILHEL SOTERREZ.

FIRMA ASESOR: San Fernando Centin Landa

FECHA ENTREGA: 08/08/2016

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____
 ACEPTADO _____
 ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____