



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería En Electricidad Y Computación**

**“PROTOTIPO DE UN SISTEMA EMBEBIDO CONFIGURABLE  
PARA LA ADQUISICIÓN Y MONITOREO DE DATOS  
UTILIZANDO UNA TARJETA DE DESARROLLO BEAGLEBONE  
BLACK DE TEXAS INSTRUMENTS APLICADO A LA  
AGRICULTURA”**

**INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA Y**

**AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**INGENIERO EN TELEMÁTICA**

Presentado por:

**LÓPEZ ULLOA CHRISTIAN**

**MIRANDA SALVATIERRA XAVIER SEBASTIAN**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2015**

## **AGRADECIMIENTO**

Al Consorcio IDETEC por su apoyo con equipamiento e instalaciones para la realización de este proyecto. A amigos y compañeros que pudieron ayudarnos a culminar este proyecto.

## DEDICATORIA

Dedico este logro primeramente a Dios, ya que me ha bendecido siempre en todos los proyectos que me he trazado en la vida, a mis amados padres que han sido mi eje y un pilar importante en toda mi etapa de formación académica.

Christian López Ulloa

A mis padres, mis hermanas y hermano, por su constante apoyo, consejos y palabras de aliento para completar esta etapa. A mis amigos, que siempre me acompañan y alientan.

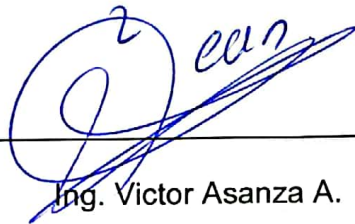
Xavier Sebastian Miranda Salvatierra

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Sara Ríos O., Msc.

SUBDECANO DE LA FIEC



Ing. Victor Asanza A.

DIRECTOR DE PROYECTO DE GRADUACIÓN



Ing. Carlos Salazar L.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por el contenido e ideas expuestas en este Informe, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Christian López Ulloa



Xavier Sebastian Miranda Salvatierra

## RESUMEN

La solución propuesta en el presente proyecto es un registrador de datos que permite a los agricultores conocer el comportamiento en tiempo real de la velocidad del viento, nivel de iluminación solar, humedad del aire, temperatura del aire, humedad del suelo y temperatura del suelo; que influyen sobre sus cultivos y afectan la producción y calidad de los cultivos.

A través de la tarjeta programable BEAGLEBONE BLACK se ha diseñado un prototipo de registrador de datos con sensores que miden las variables antes mencionadas. Esta información será llevada a un servidor web en la nube que almacenará la información para luego poder observarla a través de una aplicación móvil para dispositivos con sistema operativo Android, así el experto en el campo de la agricultura podrá conocer información del comportamiento de un cultivo.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO 1.....	18
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	18
1.1 ANTECEDENTES.....	18
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.4 ALCANCE Y RESTRICCIONES.....	21
CAPÍTULO 2.....	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 SISTEMA EMBEBIDO.....	22
2.1.1 ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE UN SISTEMA EMBEBIDO	
23	
2.1.2 ARQUITECTURA BÁSICA EMPLEADA.....	24

2.2	CONCEPTO DE DATALOGGER .....	25
2.2.1	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	25
2.2.2	TIPOS DE DATALOGGER .....	26
2.2.3	APLICACIONES EN LA AGRICULTURA.....	27
2.2.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	28
	CAPÍTULO 3.....	30
	SISTEMA OPERATIVO LINUX Y PROGRAMACIÓN DE TARJETA BEAGLEBONE .....	30
3.1	FUNDAMENTO TEORICO DE SISTEMA OPERATIVO LINUX .....	31
3.1.1	HISTORIA DE LINUX.....	31
3.1.2	CARÁCTERÍSTICAS DE LINUX.....	32
3.1.3	DISTRIBUCIONES DE LINUX EFICIENTES PARA UN SISTEMA EMBEBIDO.....	33
3.1.3.1	DISTRIBUCIÓN DEBIAN .....	34
3.2	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON .....	35
3.2.1	FUNDAMENTO TEÓRICO DE PYTHON.....	35
3.2.2	BENEFICIOS DE LA PROGRAMACIÓN DESDE PYTHON.....	37
3.2.3	PROGRAMACIÓN EN PYTHON .....	40
	CAPÍTULO 4.....	43
	ESPECIFICACIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	43
4.1	ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA .....	43
4.2	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.....	48



4.3	PLACA BEAGLEBONE .....	49
4.4	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA TARJETA BEAGLEBONE	51
4.5	DISEÑO DEL HARDWARE ADAPTABLE .....	52
4.5.1	Sensor de Humedad del suelo FC-28 .....	52
4.5.2	Sensor de Humedad Relativa y Temperatura Ambiente DHT11 ....	53
4.5.3	Sensor de Luz TSL2561 .....	54
4.5.4	Sensor de velocidad del viento HYX-FSV .....	55
4.5.5	Sensor de temperatura DS18B20 .....	55
4.6	DESARROLLO DEL SOFTWARE EN LA BEAGLEBONE BLACK.....	56
4.7	DESARROLLO DEL SOFTWARE DE APLICACIÓN.....	56
4.8	DISEÑO DE PRUEBAS .....	58
	CAPÍTULO 5.....	60
	PRUEBAS Y RESULTADOS .....	60
5.1	PRUEBAS DEL SISTEMA .....	60
5.2	RESULTADOS DEL SISTEMA.....	61
5.2.1	TABLAS CON RESULTADOS .....	62
5.2.2	GRÁFICOS DE CADA SENSOR .....	64
	CONCLUSIONES .....	73
	RECOMENDACIONES.....	74
	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	ANEXOS.....	78

## ABREVIATURAS

BBB	Beaglebone Black
CPU	Unidad central de procesos.
DC	Corriente Continua
FAO	Organización para la Comida y Agricultura
GND	Ground
RAM	Memoria de acceso aleatorio
Vcc	Voltaje en corriente continua

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: EXTRACCIÓN DE AGUA POR SECTOR SEGÚN LA ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA [1].....	19
FIGURA 2.1: PROCESO DESDE LA ADQUISICIÓN DE LOS DATOS HASTA SU MONITOREO A TRAVÉS DE UNA APLICACIÓN ANDROID.....	25
FIGURA 3.1: LOGO DE LINUX [17].....	31
FIGURA 3.2: LOGO DE PROYECTO DEBIAN.....	34
FIGURA 3.3: LOGO DE PYTHON [19].....	36
FIGURA 3.4: LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN MÁS POPULARES DEL 2015 SEGÚN CODEEVAL, EN SU SITIO WEB CODEEVAL.COM. [13]	36
FIGURA 4.1: SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO FC – 28 .....	44
FIGURA 4.2: SENSOR DE TEMPERATURA DEL SUELO DS18B20.....	44
FIGURA 4.3: SENSOR DE NIVEL DE ILUMINACIÓN SOLAR TSL – 2561 .	45
FIGURA 4.4: SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL AMBIENTE DHT11 .....	45
FIGURA 4.5: ANEMÓMETRO DE VELOCIDAD HORIZONTAL DEL VIENTO HYX – FSV.....	46
FIGURA 4.6: ACONDICIONAMIENTO DE LAS SEÑALES QUE ENVÍAN LOS SENSORES.....	47
FIGURA 4.7: PROCESO DESDE LA TARJETA BBB HASTA XBEE DE TARJETA RASPBERRY PI.....	47

FIGURA 4.8: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA EMBEBIDO, DESDE LA TOMA DE DATOS HASTA EL MONITOREO EN LA APLICACIÓN MÓVIL.....	48
FIGURA 4.9: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TARJETA BEAGLEBONE BLACK [14]. .....	50
FIGURA 4.10: ACOPLAMIENTO DEL SENSOR FC – 28 .....	53
FIGURA 4.11: ACOPLAMIENTO DEL SENSOR DHT11.....	54
FIGURA 4.12: ACOPLAMIENTO DEL SENSOR TSL2561 .....	55
FIGURA 5.1: GRÁFICA DE COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN 12 HORAS DE PRUEBA. ....	64
FIGURA 5.2: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL AMBIENTE EN 12 HORAS DE PRUEBA. ....	65
FIGURA 5.3: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL SUELO EN 12 HORAS DE PRUEBA.....	65
FIGURA 5.4: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL AMBIENTE EN 12 HORAS DE PRUEBA. ....	66
FIGURA 5.5: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN EN 12 HORAS DE PRUEBA. ....	66
FIGURA 5.6: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN 12 HORAS DE PRUEBA. ....	67
FIGURA 5.7: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN 12 HORAS DE PRUEBA. ....	68

FIGURA 5.8: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL AMBIENTE EN 12 HORAS DE PRUEBA. ....	69
FIGURA 5.9 GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL SUELO EN 12 HORAS DE PRUEBA.....	70
FIGURA 5.10: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL AMBIENTE EN 12 HORAS DE PRUEBA. ....	71
FIGURA 5.11: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN SOLAR EN 12 HORAS DE PRUEBA. ....	71
FIGURA 5.12: GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN 12 HORAS DE PRUEBA .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: APLICACIONES DE MONITOREO CON DATALOGGER [3]. .....	27
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA BEAGLEBONE BLACK [14].....	51
TABLA 3: PROMEDIO DE MUESTRAS TOMADAS A LO LARGO DE UN DÍA .....	62
TABLA 4: PROMEDIO DE MUESTRAS TOMADAS EN UN DÍA.....	63

## INTRODUCCIÓN

En el sector agrícola conocer información sobre las condiciones climáticas puede brindar una clara estimación sobre qué esperar de la calidad y cantidad de productos que será posible obtener al finalizar una cosecha. Sin embargo, problemas tales como inadecuados sistemas de riego, falta de correctas técnicas de riego y cambios en las condiciones climáticas no previstos hacen difícil conocer el resultado final de los cultivos.

Variables como temperatura, humedad, nivel de iluminación y velocidad del viento permiten conocer los requerimientos hídricos de un cultivo y administrar de manera eficiente dichos recursos.

Como solución al problema antes expuesto, en el presente proyecto se propone un sistema para que los agricultores a través de variables climáticas puedan conocer los requerimientos hídricos que están influyendo sobre sus cultivos, aprovechar esta información y así puedan tomar las medidas preventivas y/o correctivas para tener altos niveles de productividad.

Para monitorear los datos de temperatura, humedad, nivel lumínico y velocidad del viento se ha desarrollado una aplicación móvil que podrá mostrar los valores históricos almacenados y los valores actuales las variables de

humedad del suelo, humedad del aire, temperatura del suelo, temperatura del aire, nivel de iluminación y velocidad del viento.

En este informe se verán los siguientes temas:

En el capítulo 1 se introduce la problemática que existe para el sector agrícola, y la respectiva justificación para este proyecto que plantea una solución viable y de aplicación prácticamente inmediata.

En el capítulo 2 se presenta el marco teórico en que se definen conceptos sobre sistemas embebidos y registrador de datos, Además se explicará cómo será utilizado en el proyecto.

El capítulo 3 introduce el concepto de Linux y la distribución que se escogió para la tarjeta programable BEAGLEBONE BLACK. También se hablará sobre el lenguaje de programación Python, que será el utilizado para recibir los valores en la tarjeta y hacer su posterior envío a la base de datos.

En el capítulo 4 se verá el desarrollo del sistema. Se menciona cada una de las partes que forman el registrador de datos. Sensores, acoplamiento, tarjeta BEAGLEBONE BLACK, base de datos y finalmente, aplicación web desde la que se podrá monitorear los valores de los sensores.



El capítulo 5 tendrá las pruebas y los resultados después de haber puesto a prueba de campo la estación meteorológica.

Para terminar el presente trabajo, se muestran las conclusiones y recomendaciones sobre este prototipo.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

El presente capítulo explica el problema que el sector agrícola enfrenta al no contar con información precisa y oportuna sobre las condiciones ambientales a las que están sometidos sus cultivos y la razón que da validez al desarrollo de este proyecto.

### **1.1 ANTECEDENTES**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la comida y agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) la agricultura alcanza a nivel mundial el 70% de consumo de agua. En Ecuador, el regadío y la

ganadería tienen un consumo de agua que está alrededor del 81%, mientras que de esto solo se considera eficiente entre el 15% y 20% [1].

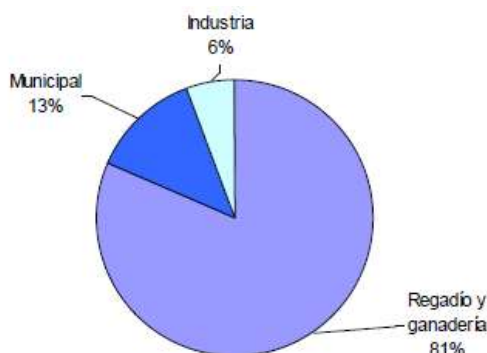


Figura 1. 1: Extracción de agua por sector según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [1].

Así como se desconoce que hay un enorme desperdicio de agua, es aún más difícil conocer la situación de otros factores como temperatura, nivel de iluminación y velocidad del viento que son igual de importantes para la producción del cultivo.

Sin un sistema que tome esta información directamente de los cultivos, no hay manera de conocer con precisión y confiabilidad los valores de estos parámetros meteorológicos.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Mediante la realización de este proyecto es posible conocer el nivel de humedad en el aire, la temperatura del aire, la humedad de la tierra, la

temperatura de la tierra, el nivel de iluminación solar y la velocidad del viento. Sabiendo esta información, es posible crear una estrategia de riego que permita optimizar el uso de los recursos hídricos.

Es decir, saber cuándo es momento de regar los cultivos y cuánto debe ser el nivel de agua con que debe ser regado.

### **1.3 OBJETIVOS**

Diseñar e implementar un sistema embebido configurable de adquisición de datos utilizando la tarjeta BEAGLEBONE BLACK para un ambiente agrícola que sea capaz de leer las variables de temperatura del suelo, humedad del suelo, temperatura y humedad del aire, nivel de iluminación y velocidad del viento, para su posterior envío inalámbrico de los datos hacia un servidor que permita el respectivo monitoreo del comportamiento de las mismas.

- Utilizar un sistema embebido basado en la tarjeta BEAGLEBONE BLACK que funcione como un equipo de adquisición de datos con sistema operativo Debian.
- Almacenar los datos de los sensores en una base de datos para un tratamiento posterior.
- Monitorear a través de un aplicativo web los valores históricos y en tiempo real que se almacenan en la base de datos.

- Realizar pruebas de campo para obtener datos reales y verificar la efectividad del sistema embebido diseñado.
- Utilizar módulos de comunicación inalámbrica para facilitar el envío de información desde el datalogger hasta la base de datos.

#### **1.4 ALCANCE Y RESTRICCIONES**

Los sensores utilizados en este proyecto medirán humedad del suelo, temperatura del suelo, humedad y temperatura del aire en un mismo sensor, la intensidad de luz sobre los cultivos y la velocidad del aire. Esta información podrá ser almacenada en una base de datos para ser revisada posteriormente a través de una aplicación web.

Existen otras variables que se pueden considerar dentro del sector agrícola que no serán tomadas en cuenta en este proyecto. Lo que este proyecto busca es tener un instrumento de fácil acceso, otras variables requiere de sensores que son de difícil adquisición. Por esto el proyecto se limita a las variables de temperatura del suelo, humedad del suelo, temperatura y humedad del aire, intensidad de luz y velocidad del viento.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

En este capítulo, se mencionan los conceptos básicos. Se introducen conceptos como sistema embebido y datalogger (registrador de datos). Se hace una descripción del alcance y las limitantes que poseen los elementos mencionados.

#### **2.1 SISTEMA EMBEBIDO**

Un sistema embebido es un conjunto de elementos o piezas electrónicas que al trabajar junto a un software realizan procesamiento de datos con una función específica.

Como lo define Elecia White en su obra *Making Embedded Systems*: “Un sistema embebido es un sistema computarizado que está construido para una aplicación”. A diferencia de un computador en que su función puede ser multipropósito y está compuesto de sistemas embebidos como la tarjeta gráfica, tarjeta de sonido y procesador.

Al tener una función definida, su hardware está adaptado a dicha función y tiene menor capacidad en funciones que no están directamente ligadas su propósito [2]. El hardware generalmente está diseñado para ahorrar energía y utiliza elementos que tienen un bajo costo y son de fácil adquisición. El sistema operativo que se corre sobre el hardware cumple con funciones definidas para cumplir las tareas establecidas para el sistema embebido.

### **2.1.1 ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE UN SISTEMA EMBEBIDO**

Un sistema embebido, al igual que un sistema de propósito general como un computador, necesita un hardware sobre el que se define la cantidad de procesamiento, memoria, capacidades y sensores que el sistema utiliza.

También requiere un sistema operativo que permita al usuario interactuar con el hardware. Generalmente el sistema operativo

para un sistema embebido, al igual que sucede con el hardware, tiene limitaciones. Tiene procesamiento y funcionalidades limitadas al cumplimiento del propósito del sistema embebido.

### **2.1.2 ARQUITECTURA BÁSICA EMPLEADA**

La figura muestra de forma general la arquitectura del sistema embebido utilizado en este proyecto. Desde la medición de los datos en el campo a través de los sensores, el acondicionamiento de las señales de los mismos. La adquisición y posterior envío de los datos a través de la tarjeta BEAGLEBONE BLACK utilizando programación en Python.y su posterior almacenamiento en la base de datos para su monitoreo a través de una aplicación web.



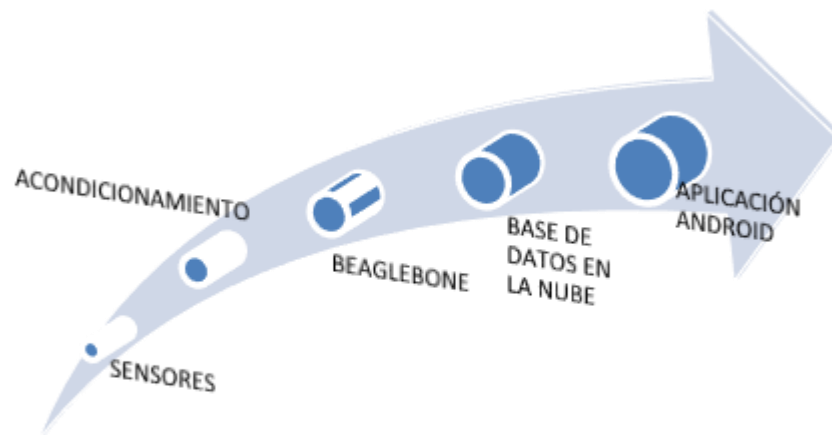


Figura 2. 1: Proceso desde la adquisición de los datos hasta su monitoreo a través de una aplicación Android.

## 2.2 CONCEPTO DE DATALOGGER

Un datalogger (registrador de datos) es un equipo electrónico diseñado con el objetivo de medir datos por grandes periodos de tiempo. Toma los valores y los almacena en tiempo real, es decir, cada valor almacenado cuenta con una fecha y una hora de registro.

### 2.2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Para considerar un equipo como un datalogger se debe cumplir con algunas de las características que se mencionan a continuación:

- **Portabilidad:** Facilidad para trasladar el equipo de un lugar a otro.
- **Robustez:** Capacidad de cumplir sus funciones en ambientes hostiles.
- **Autónomo:** Capacidad de funcionar sin supervisión constante de un usuario.
- **Capacidad de almacenamiento:** Por la funcionalidad a la que debe responder, un datalogger debe contar con la capacidad de guardar y clasificar la información que recibe del escenario que se presente a través de los sensores.
- **Bajo consumo de energía:** Muchas aplicaciones de datalogger requieren largos periodos de tiempo de muestreo. Es indispensable que sea capaz de realizar las tareas consumiendo la menor cantidad de energía posible.
- **Bajo coste:** Esta característica permite a una mayor cantidad de usuarios acceder a las diferentes aplicaciones que brinda el uso de un datalogger.

### 2.2.2 TIPOS DE DATALOGGER

Un registrador de datos tiene una amplia variedad de aplicaciones. Depende principalmente de los tipos de sensores que sean conectados al registrador. El sensor recibe la señal del mundo

externo y la transforma en un voltaje que luego se interpreta. Por ejemplo, si se está midiendo nivel de humedad. El voltaje para 0% de humedad podría ser 0 voltios y el voltaje para el 100% de humedad sería 5 voltios. Los valores intermedios de humedad serán proporcionales con un voltaje entre cero y cinco voltios.

La tabla 1 muestra algunas variables que pueden ser monitoreadas a través de un datalogger.

Tabla 1: Aplicaciones de monitoreo con Datalogger [3].

<b>Meteorología</b>	<b>Hidrología/Cualidades del agua</b>
Temperatura	Nivel de presión
Humedad Relativa	Temperatura
Radiación Solar	pH
Presión Barométrica	Conductividad
Dirección del viento	Oxígeno disuelto
Velocidad del viento	Turbiedad

### **2.2.3 APLICACIONES EN LA AGRICULTURA**

Los cultivos necesitan un ambiente óptimo para desarrollar correctamente todas sus fases. Para que una planta alcance su fase vegetativa, floración y fructificación requiere niveles adecuados de temperatura, humedad e iluminación solar [4].

Además, como se ha indicado antes, administrar correctamente los recursos hídricos en un cultivo puede hacer la diferencia en el resultado de la producción de un cultivo.

Aprovechando los sensores disponibles en el mercado, se puede tomar valores meteorológicos para optimizar el uso de los recursos hídricos y conocer el estado de temperatura y humedad del cultivo. Para este proyecto se toman valores del suelo y del ambiente del cultivo, las variables que serán estudiadas son humedad del suelo, temperatura del suelo, humedad del aire y temperatura del aire, nivel de iluminación solar y velocidad del viento que fluye a través del cultivo. Poder registrar el comportamiento de estas variables y luego tener una revisión histórica y en tiempo real de cada uno de estos componentes permite conocer al profesional en agricultura si el cultivo está en condiciones adecuadas para su crecimiento y normal desarrollo o, por el contrario, se verá afectado por enfermedades o plagas. Conociendo esta información los expertos pueden tomar las medidas preventivas o correctivas para mantener en lo mejor posible las condiciones normales de crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos.

## **2.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

### **2.2.4.1 Ventajas**

Un datalogger contiene considerables ventajas que lo hacen competitivo en el mercado actual:

- **Flexibilidad:** Un datalogger puede monitorear desde un único sensor hasta un grupo de sensores en el mismo equipo.
- **Bajo costo:** Parte de la filosofía de las tarjetas de sistemas embebidos y los registradores de datos es utilizar componentes que hagan su función específica y eso represente menor inversión.
- **Capacidad de almacenamiento:** Un datalogger está pensado para tomar grandes cantidades de información por largos periodos de tiempo, esto representa que la información tenga un formato simple que la haga de tamaño ligero y al mismo tiempo una amplia capacidad de almacenamiento en el equipo.
- **Portabilidad:** Los registradores de datos son equipos relativamente pequeños y ligeros. Ocupan espacios pequeños y es fácil de transportar.

#### 2.2.4.2 Desventajas

Como se trata de un registrador de datos, sus funciones están limitadas a almacenar y ordenar los datos que está recibiendo a través de los sensores pero no es posible dar un tratamiento adicional a estos datos recibidos.

## **CAPÍTULO 3**

### **SISTEMA OPERATIVO LINUX Y PROGRAMACIÓN DE TARJETA BEAGLEBONE**

En este capítulo se tratará sobre el Sistema Operativo Linux, sus capacidades y ventajas por la que fue elegido para este proyecto. También se tratará sobre su aplicación en el Sistema Embebido y en la tarjeta de desarrollo BEAGLEBONE BLACK.

## 3.1 FUNDAMENTO TEORICO DE SISTEMA OPERATIVO LINUX

### 3.1.1 HISTORIA DE LINUX

Linux es un sistema operativo de código abierto basado en el Sistema Operativo Unix. Fue creado en 1991 por Linus Torvalds [5]. De ahí en adelante este sistema operativo cuenta, a nivel mundial, con miles de desarrolladores que añaden código a Linux para dar origen a diferentes aplicaciones mediante el uso de Linux.

Linux ha tenido un crecimiento tan grande que a partir de su núcleo se han desarrollado diferentes distribuciones. Una distribución de Linux es un sistema operativo con funcionalidades específicas. Algunas de estas distribuciones son ligeras en tamaño para ser instaladas en tarjetas de desarrollo con poca capacidad de almacenamiento. Otras distribuciones cuentan con gran desarrollo gráfico. Otro grupo de ellas están orientadas a la intrusión y espionaje.



Figura 3. 1: Logo de Linux [17]

### 3.1.2 CARÁCTERÍSTICAS DE LINUX

#### **Software libre**

Linux es uno de los más grandes ejemplos del movimiento de software libre y ésta es su principal característica. Que sea de software libre significa que no requiere un licenciamiento para funcionar y puede ser modificado por cualquier usuario.

#### **Multitarea [6]**

A lo que se refiere esta característica es que Linux posee la capacidad de ejecutar una variedad de programas simultáneamente sin causar conflictos entre la ejecución de ellos. A esto se le conoce como multitarea preferencial, donde cada programa puede ejecutarse sin impedir la ejecución de otro de los programas. A diferencia de Windows que hace multitarea colaborativa, donde un programa se ejecuta únicamente cuando otro le da paso.

#### **Multiusuario**

Linux permite a más de un usuario utilizar las mismas aplicaciones simultáneamente. Todo el potencial que Linux ofrece puede ser aprovechado. Más de una persona puede trabajar en la misma versión de la misma aplicación o tarea con la que otra persona está



trabajando y todo esto puede ocurrir de forma simultánea, desde mismas terminales o desde terminales distintas.

### **Colaboración**

Una característica de Linux es que existen comunidades donde los usuarios se pueden apoyar para solucionar problemas con respecto a las distribuciones, programación, alcance de una distribución, novedades y actualizaciones de los sistemas operativos.

#### **3.1.3 DISTRIBUCIONES DE LINUX EFICIENTES PARA UN SISTEMA EMBEBIDO**

Un sistema embebido requiere de una distribución que sea ligera y no necesite grandes recursos de hardware para ejecutarse de forma óptima. Además, es indispensable que cuente con las librerías necesarias para la función que vaya a cumplir. En este caso que cumplirá las funciones de un datalogger, es necesario que permita recolectar los datos desde los sensores ya antes mencionados y que facilite el envío de datos hacia la nube a través de comunicación inalámbrica. En caso de que la distribución no cuente con las librerías necesarias, debe permitir que las librerías sean agregadas.

A continuación se mencionan algunas distribuciones que cumplen con las características antes mencionadas:

- Ubuntu
- Debian
- Angstrom

### 3.1.3.1 DISTRIBUCIÓN DEBIAN

Para este proyecto se ha escogido la distribución Debian como sistema operativo en la tarjeta BEAGLEBONE BLACK.



Figura 3. 2: Logo de Proyecto Debian

El proyecto Debian fue originado en 1993 por Ian Murdock con la intención de tener un sistema operativo totalmente abierto [7].

Se considera a Debian como una distribución de alta calidad, estable y escalable [8]. Lo que ha mantenido a Debian distinguida sobre otras distribuciones es su

capacidad para la gestión de paquetes. Actualmente cuenta con más de 43000 paquetes, un gestor de paquetes y otras aplicaciones adicionales [9]. Un administrador de Debian tiene total control sobre los paquetes instalados y teniendo facilidad para la actualización de un paquete individual o de toda la distribución. También puede proteger un paquete para que no sea actualizado.

Al contar Debian con un gran equipo de desarrolladores que mantienen al día a este sistema operativo, el tiempo de solución de problemas, creación de parches por fallas de seguridad ocurre muy rápidamente.

Debian, tuvo su última actualización el 25 de abril del 2015 con su versión llamada “Jessie” [10] que tendrá soporte por los próximos 5 años.

## **3.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON**

### **3.2.1 FUNDAMENTO TEÓRICO DE PYTHON**

Python es un lenguaje de programación de alto nivel creado a principios de los años 90 por Guido van Rossum [11].



Figura 3. 3: Logo de python [19]

Es un lenguaje interpretado, está orientado a objetos y es multiplataforma [12].

Según el sitio codeEval, Python ha sido desde hace algunos años el lenguaje de programación más utilizado en el mundo. En la gráfica se puede ver la proporción que tiene frente a otros lenguajes de programación [13].

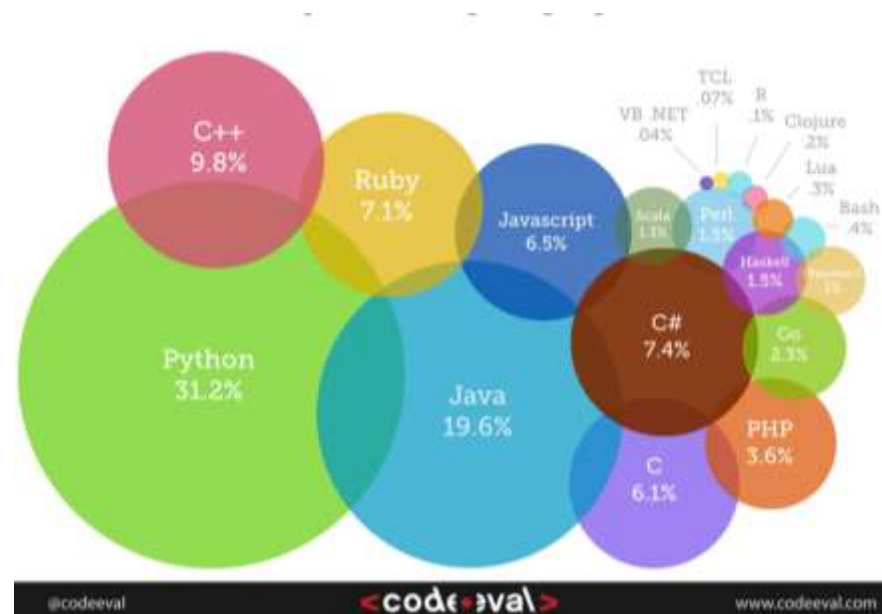


Figura 3. 4: Lenguajes de Programación más populares del 2015 según CodeEval, en su sitio web codeeval.com. [13]

### 3.2.2 BENEFICIOS DE LA PROGRAMACIÓN DESDE PYTHON

Python cuenta con características que lo han ubicado como el lenguaje de programación más utilizado en los últimos años.

Algunas de las características más fuertes de Python son:

#### Lenguaje de alto nivel

Un lenguaje de alto nivel se caracteriza por su parecido a la lógica humana, por lo tanto es fácil de escribir y de leer. En el caso particular de Python, no sólo es fácil de leer sino que tiene una sintaxis muy simple comparada con otros lenguajes de programación. Lo que hace sencillo aprender a programar en este lenguaje y menos probable cometer errores comunes que suceden en otros lenguajes.

Por ejemplo, en un lenguaje popular como PHP una condición se escribiría así:

```
$name = "Pedro";  
If($name == "Pedro") {  
    $name == "Pedro gana";  
}  
Elseif($name == "Victor"){  
    $name = "Victor gana";  
}  
else{  
    $name = "Quien eres?"  
}
```

Pero en Python se escribiría de una forma más simple:

```
name = "Pedro"
if name == "Pedro":
    name= "Pedro gana"
elif name = "Victor gana"
else:
    name = "Quien eres?"
```

Es fácil observar como la sintaxis de Python es mucho más sencilla y se puede considerar como una ventaja importante para un programador novato.

### **Lenguaje interpretado**

Python, en lugar de compilarse al lenguaje de máquina lo que hace es tener un programa intermedio llamado intérprete. Al ser un lenguaje interpretado le brinda a Python mayor flexibilidad y portabilidad ya que no depende de un sistema operativo para ser entendido y ejecutado.

### **Multiplataforma**

El intérprete de Python está disponible para los sistemas operativos más utilizados como Windows, Linux, Unix, Mac y otros. Esto permite al programador trabajar desde su sistema operativo sin problemas. Para el caso específico del presente proyecto. El código de Python estará corriendo en la distribución Debian de Linux.

## **Varios tipos de programación**

Python permite la programación imperativa, programación funcional y la programación orientada a objetos. Cabe recordar que en la programación orientada a objetos se pretende acercar la forma de programar a cómo se interpretaría en la vida real una situación.

### **Tipado dinámico**

En términos de Eugenia Bahit, autora de Curso: Python para Principiantes [14], el tipado dinámico se define así:

“Un lenguaje de tipado dinámico es aquel cuyas variables, no requieren ser definidas asignando su tipo de datos, sino que éste, se auto-asigna en tiempo de ejecución, según el valor declarado.”

### 3.2.3 PROGRAMACIÓN EN PYTHON

Una vez que las señales enviadas por los sensores han sido acondicionadas a los voltajes adecuados para la tarjeta BEAGLOBONE BLACK. Se utiliza programación en Python para entender los mensajes, almacenarlos y luego hacer el envío hacia la nube.

Dentro de Python existe una librería llamada Adafruit\_BBIO creada por Adafruit[15] que ha sido diseñada para funcionar fácilmente con BEAGLEBONE BLACK (BBB).

Para este proyecto se utilizan las siguientes librerías:

- GPIO [16]
- ADC
- I2C
- UART

Con esto se puede recoger los datos de los sensores en la BBB sin tener que hacer extensas configuraciones, ya que las librerías ayudan a la tarjeta a entender qué tipo de señales está recibiendo.

A continuación, la tarjeta BBB envía los datos de forma inalámbrica a través de la tarjeta de comunicación XBee hasta otra tarjeta XBee conectada a una tarjeta Raspberry Pi que tendrá acceso a Internet. El envío de los datos se hace utilizando una trama que está en



formato de punto y coma. Es decir, cada valor está separado por un signo de punto y coma en el orden que se muestra a continuación:

Temperatura del suelo; luz; humedad relativa; temperatura relativa; velocidad del viento; humedad de la tierra.

En el lenguaje de Python se ve de la siguiente manera:

```
#ser.write("@"+temperatura+";"+luz+";"+humedadRelativaTemp+";  
"+viento+";"+barometro+"!\n")
```

En la tarjeta Raspberry Pi la información es separada para enviar cada valor al servidor indicando la siguiente información:

- Identificador del dispositivo desde el que se envía la información.
- El tipo de sensor.
- El valor numérico que ha medido el sensor.
- Fecha del valor tomado.

En términos de Python se escribe de la siguiente forma:

```
values = {"device": "xjbc2z3s8t5p4lvi", "sensor": str(sensor), "value":  
str(valor), "date": str(fecha)}
```

Es importante mencionar que la tarjeta BBB tiene la función de un datalogger por lo tanto al estar en medio de un cultivo, es difícil dar

acceso a internet directamente. Por ello, aprovechando las capacidades de la tarjeta XBee se conecta a otro equipo cercano que tiene el acceso a internet para el envío al servidor.

## **CAPÍTULO 4**

### **ESPECIFICACIÓN GENERAL DEL SISTEMA**

El presente capítulo detalla la estructura del datalogger. Aquí se podrán observar todas las partes involucradas en el prototipo de estación meteorológica. La toma de datos, el procesamiento de las variables, el almacenamiento en la tarjeta BEAGLEBONE BLACK, el envío hacia la base de datos y finalmente el monitoreo a través de una aplicación web.

#### **4.1 ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA**

El registrador de datos aplicado a la agricultura comienza con la adquisición de los datos del campo. En este proyecto las variables a analizar son:

- Humedad del suelo a través del sensor FC – 28 que registra el porcentaje de agua en el suelo como resultado de metros cúbicos de agua por cada metro cúbico de tierra.



Figura 4. 1: sensor de humedad del suelo FC – 28

- Temperatura del suelo con el sensor DS18B20. Este valor se registra en grados Celsius.

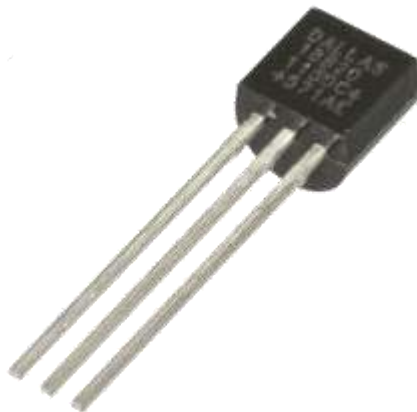


Figura 4. 2: sensor de temperatura del suelo DS18B20

- Intensidad de luz solar utilizando el sensor TSL – 2561. Este sensor registra los valores en luxeres.

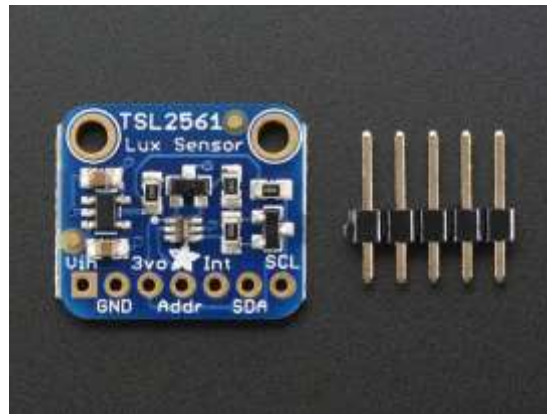


Figura 4. 3: sensor de nivel de iluminación solar TSL – 2561

- Temperatura y humedad relativa del aire con el sensor DHT11. La temperatura es registrada en grados Celsius y la humedad en porcentaje de la relación entre el vapor de agua y el aire seco.



Figura 4. 4: sensor de temperatura y humedad del ambiente DHT11

- Velocidad del viento con el sensor HYX – FSV. La velocidad es medida en metros por segundo.



Figura 4. 5: Anemómetro de velocidad horizontal del viento HYX – FSV

Cuando los valores son recibidos a través de los sensores entran al acondicionamiento que ajusta los voltajes para que puedan interactuar con la tarjeta BEAGLEBONE BLACK.

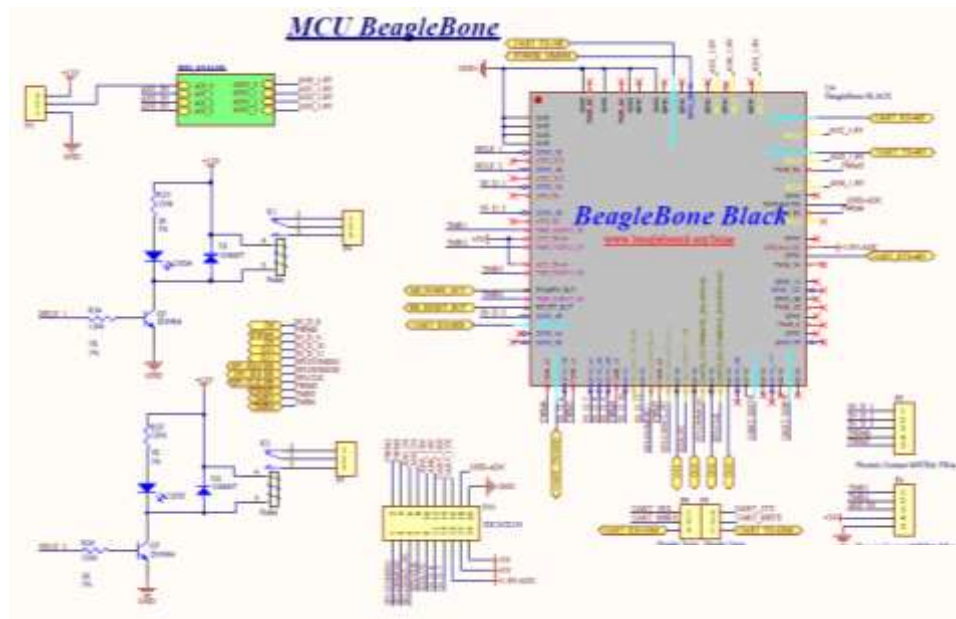


Figura 4. 6: Acondicionamiento de las señales que envían los sensores.

Una vez que los datos han llegado a la tarjeta BBB pasan al módulo XBee del datalogger que envía los datos al XBee receptor en la tarjeta Raspberry Pi.

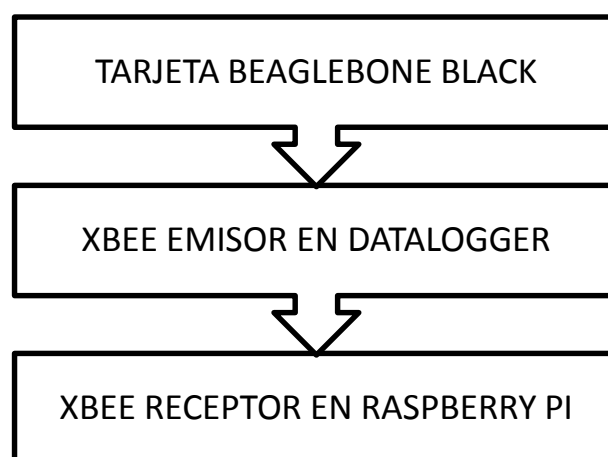


Figura 4. 7: Proceso desde la tarjeta BBB hasta XBee de tarjeta Raspberry Pi.

Una vez en la tarjeta Raspberry Pi, los datos son enviados hacia el servidor alojado en la dirección IP pública <http://104.236.0.177/>. Estos datos son enviados mediante el método POST, es decir, que los valores van ocultos y no pueden ser manipulados. Para el caso de este proyecto es importante evitar que los datos puedan ser manipulados de alguna manera por un usuario externo.

## 4.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

En el siguiente diagrama de bloques se muestra cada paso por el que se mueve la información desde que es tomada del cultivo con los sensores, hasta que es presentada con la aplicación desde el servidor.

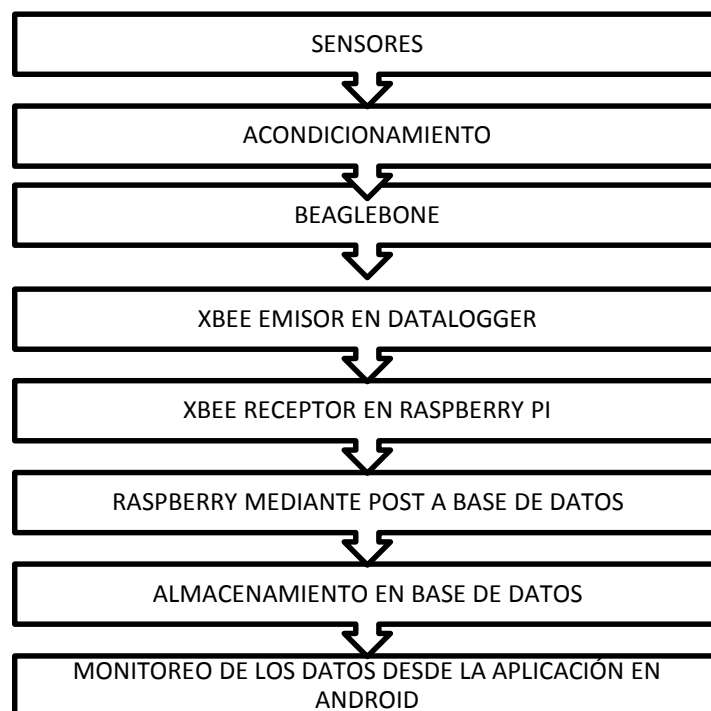


Figura 4. 8: Diagrama de Bloques del sistema embebido, desde la toma de datos hasta el monitoreo en la aplicación móvil.



### **4.3 PLACA BEAGLEBONE**

Como se ha mencionado antes, la tarjeta BEAGLEBONE BLACK es un sistema embebido que para este proyecto se le ha dado el propósito de datalogger. De acuerdo a lo que se definió en el Capítulo 1, un sistema embebido es un computador que ha sido diseñado para cumplir con un propósito particular.

Como se puede observar en el diagrama de bloques mostrado a continuación, la tarjeta BBB cuenta con un microprocesador, memoria RAM, almacenamiento, puertos periféricos y otros elementos que tienen gran similitud con un computador.

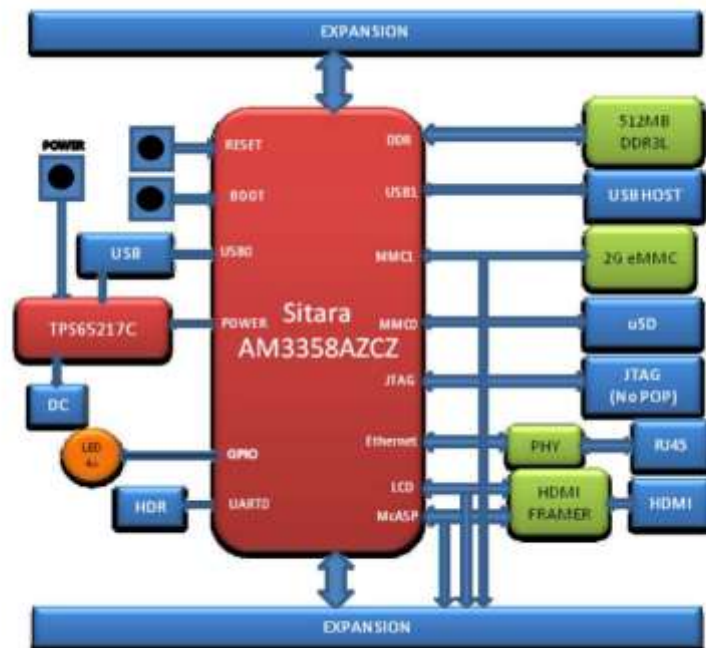


Figura 4. 9: Diagrama de Bloques de la Tarjeta BEAGLEBONE BLACK [14].

Es relevante mencionar algunos elementos importantes dentro de este diagrama de bloques.

El microprocesador de la tarjeta BBB es un Sitara AM3358AZCZ, que cuenta con un procesador ARM® Cortex®-A8, de un solo núcleo con un bus de 32 bits, permite trabajar con memorias RAM actuales como DDR2 y DDR3, tiene puertos Ethernet y puertos USB [20].

Cuenta con una memoria DDR3L de 512MB, esta memoria permite una velocidad de 1.32GB/S [14].

El chip TP565217C recibe el voltaje de alimentación de la tarjeta BBB y lo acopla a sus demás partes como el microprocesador Sitara, los puertos y la memoria RAM [21].

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA TARJETA BEAGLEBONE

La tabla mostrada en esta sección detalla especificaciones técnicas de la tarjeta BEAGLEBONE BLACK de acuerdo al documento técnico del fabricante.

Tabla 2: Características de la Tarjeta BEAGLEBONE BLACK [14].

	<b>Características</b>	
<b>Procesador</b>	Sitara AM3359AZCZ100 1GHz, 2000 MIPS	
<b>Motor gráfico</b>	SGX530 3D, 20M Polygons/S	
<b>Memoria SDRAM</b>	Memoria SDRAM 512MB DDR3L 606MHZ	
<b>Flash</b>	2GB, 8bit Embedded MMC	
<b>PMIC</b>	TPS65217C PMIC regulator and one additional LDO	
<b>Debug Support</b>	Debug Support Optional Onboard 20-pin CTI JTAG, Serial Header	
<b>Fuente de Poder</b>	miniUSB USB or conector DC	5VDC External Via Expansion Header
<b>PCB</b>	3.4" x 2.1"	6 capas
<b>Indicadores</b>	1-Power, 2-Ethernet, 4-User Controllable LEDs	
<b>Puerto Cliente USB 2.0</b>	0Access to USB0, Client mode via miniUSB	
<b>Puerto Host USB 2.0</b>	Access to USB1, Type A Socket, 500mA LS/FS/HS	
<b>Puerto Serial</b>	UART0 access via 6 pin 3.3V TTL Header. Header is populated	
<b>Ethernet</b>	10/100, RJ45	
<b>Conector SD/MMC</b>	microSD , 3.3V	

<b>Entrada por usuario</b>	Reset Button, Boot Button, Power Button
<b>Salida de video</b>	16b HDMI, 1280x1024 (MAX) 1024x768,1280x720,1440x900 w/EDID Support
<b>Audio</b>	Via HDMI Interface, Stereo
<b>Conectores de expansión</b>	Power 5V, 3.3V , VDD_ADC(1.8V) 3.3V I/O on all signals McASP0, SPI1, I2C, GPIO(65), LCD, GPMC, MMC1, MMC2, 7 AIN(1.8V MAX), 4 Timers, 3 Serial Ports, CAN0, EHRPWM(0,2),XDMA Interrupt, Power button, Expansion Board ID (Up to 4 can be stacked)
<b>Peso</b>	1.4 oz (39.68 grams)

#### 4.5 DISEÑO DEL HARDWARE ADAPTABLE

Debido a que el voltaje que devuelven los sensores es diferente al que reciben la tarjeta BBB, se ha hecho un circuito de acoplamiento que permita interactuar a estos elementos.

##### 4.5.1 Sensor de Humedad del suelo FC-28

Tiene 3 pines conectados de la siguiente forma:

Vcc, conectado en el pin 4 (V=5v) del Periférico P6

Gnd, conectado en el pin 5 del Periférico P6

Ao, conectado en el pin 3 del Periférico P6

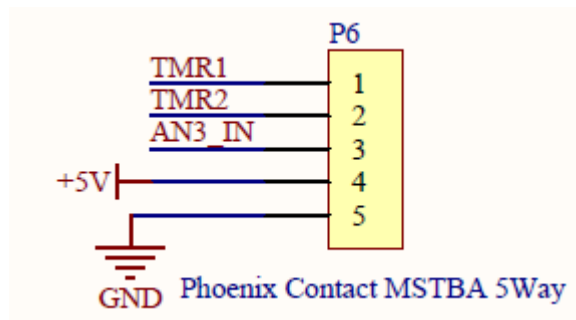


Figura 4. 10: Acoplamiento del sensor FC – 28

#### 4.5.2 Sensor de Humedad Relativa y Temperatura Ambiente DHT11

Tiene 3 pines conectados de la siguiente forma:

Vcc, conectado en el pin 4 (V=5v) del Periférico P6

Gnd, conectado en el pin 5 del Periférico P6

Do, conectado en el pin 3 del Periférico P5

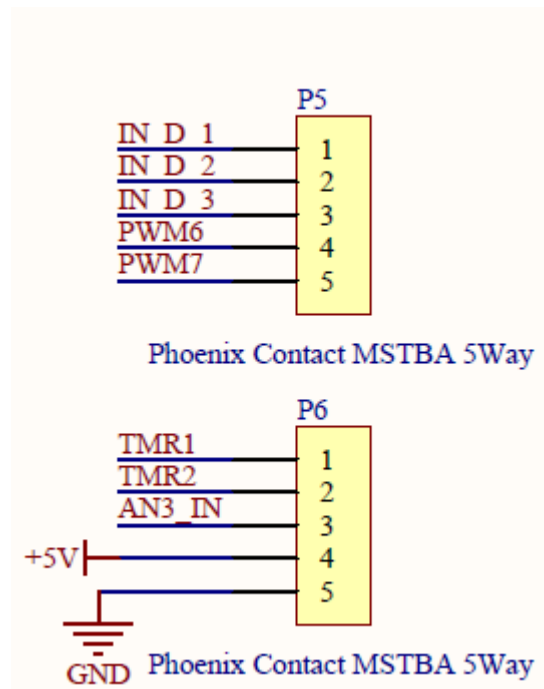


Figura 4. 11: Acoplamiento del sensor DHT11

#### 4.5.3 Sensor de Luz TSL2561

Tiene 4 pines conectados de la siguiente forma:

SCL, conectado en el pin 5 del Periférico P10

SDA, conectado en el pin 9 del Periférico P10

GND, conectado en el pin 20 del Periférico P10

VCC, conectado en el pin 19 (V=5v) del Periférico P10

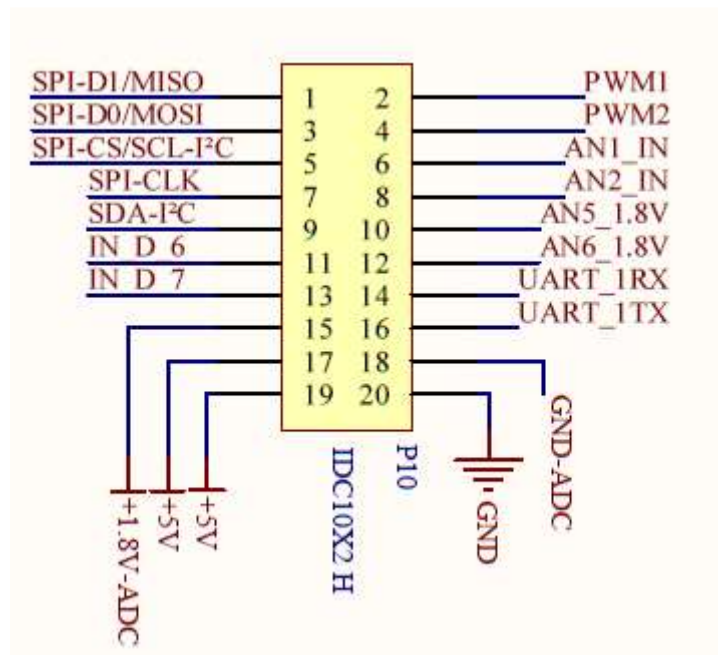


Figura 4. 12: Acoplamiento del sensor TSL2561

#### 4.5.4 Sensor de velocidad del viento HYX-FSV

Tiene 3 pines conectados de la siguiente forma:

Vcc, conectado al pin 3 del Periférico b3

Ao, conectado al pin 2 del Periférico b3

Gnd, conectado al pin 1 del Periférico b3

#### 4.5.5 Sensor de temperatura DS18B20

Tiene 3 pines conectados de la siguiente forma:

GND, conectado al pin 5 del Periférico P6

DQ, conectado al pin 2 del Periférico P5

Vcc, conectado al pin 4 del Periférico P6

#### **4.6 DESARROLLO DEL SOFTWARE EN LA BEAGLEBONE BLACK**

La tarjeta BEAGLEBONE BLACK para este proyecto ha sido cargada con la distribución Debian del sistema operativo Linux.

Para programar el sistema embebido se ha utilizado el lenguaje de programación Python 2, que, como se ha mencionado antes, cuenta con librerías diseñadas para trabajar en tarjetas de desarrollo como la tarjeta BBB.

En la tarjeta se corre un programa que constantemente lee los valores que llegan desde los sensores y luego otro programa se encarga de enviarlos en el formato “temperatura del suelo; luz; humedad relativa; temperatura relativa; velocidad del viento; humedad de la tierra” hasta la tarjeta XBee donde se continua con el proceso hasta la base de datos.

#### **4.7 DESARROLLO DEL SOFTWARE DE APLICACIÓN**

Una vez que la información llega a la base de datos se realiza el trabajo de monitoreo. Los datos serán monitoreados a través de dos tipos de



gráficas. Una de ellas mostrará los datos históricos, generará una gráfica con los valores almacenados en la base de datos. La otra gráfica mostrará los valores en tiempo real.

### **Django Framework**

Para realizar estas gráficas se ha utilizado el Framework Django. Django es un framework web hecho en Python que permite tomar aplicaciones prediseñadas para que el desarrollador se pueda enfocar específicamente en las funciones que busca. Django al estar escrito en Python es gratuito y de código abierto [21].

Para importar las funciones de Django una vez instalado se utiliza el siguiente código:

```
$ python -c "import django; print(django.get_version())"
```

### **Django REST Framework**

El Framework REST permite crear y administrar fácilmente variables en la base de datos. Para el proyecto, la base de datos recibirá las siguientes variables:

- Dispositivo
- Sensor
- Valor
- Usuario

Y para mostrarlas se utilizará Javascript Object Notation (JSON) que cuenta con diferentes tipos de gráficas estadísticas que solo deben ser enlazadas con los valores que recibimos en la base de datos.

Aprovechando esto se presentarán dos tipos de gráficas:

- **Gráficos históricos:** Mostrará gráficos con los valores almacenados en la base de datos. Es un gráfico estático donde se pueden ver los valores obtenidos hasta el momento de pedir la gráfica.
- **Gráficos en tiempo real:** Este tipo de gráfica mostrará el comportamiento en tiempo real del sensor que se esté estudiando. Es posible ver el valor instantáneo que está tomando el sensor.

#### 4.8 DISEÑO DE PRUEBAS

Se probará en un cultivo la eficiencia del Registrador de datos. Los sensores serán ubicados en una base tipo trípode diseñada para tomar los valores de cada sensor.

Se tomará un muestreo por minuto de cada sensor, por lo tanto en 12 horas de pruebas se tendrá 720 valores diarios.

Estos valores son almacenados en la base de datos para luego ser mostrados en una gráfica histórica y también ser observada en una gráfica de tiempo real.

Ya que los cambios en las variables por minuto son similares, se han realizado tablas y gráficas con un promedio calculado cada 30 minutos para que puedan ser observados con facilidad.

## **CAPÍTULO 5**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

En el presente capítulo se muestran las pruebas que se han realizado con el proyecto y los resultados obtenidos durante dichas pruebas.

#### **5.1 PRUEBAS DEL SISTEMA**

El sistema para la adquisición de datos fue puesto en una estructura de material PVC, que permite aprovechar eficientemente los sensores.

El anemómetro HYX-FCV se encuentra a 165cm del suelo donde se encuentra expuesto a las corrientes de aire.

El sensor DHT11 que mide temperatura y humedad ambiental está ubicado en la parte superior lateral de la estructura.

El sensor TSL2561 que mide el nivel de iluminación solar está ubicado sobre el otro extremo lateral superior de la estructura.

El sensor FC-28 que mide humedad del suelo está ubicado a junto al sensor de temperatura del suelo DS18B20 dentro de una barra adaptada para ser puestas en tierra.

En la parte inferior de la estructura están las baterías de 7.2 Amp/h ubicadas dentro de una caja con base de 18cm, altura de 23cm y profundida de 13cm. Estas baterías alimentan el sistema mientras está en el campo.

El datalogger ha tomado mediciones de cada sensor en intervalos de una muestra por minuto, dando un total de 1440 muestras diarias. Se ha hecho el registro durante el día desde las 7h00 hasta las 19h00.

## **5.2 RESULTADOS DEL SISTEMA**

Debido a la cantidad enorme de datos que devuelve el sistema, se ha calculado el promedio cada 30 valores. En la tabla 3 y en la tabla 4 se pueden ver los valores y como han cambiado a lo largo del tiempo durante dos días consecutivos.

### 5.2.1 TABLAS CON RESULTADOS

Tabla 3: Promedio de muestras tomadas a lo largo de un día

Hora	Humedad del suelo promedio (%)	Temperatura del suelo promedio (°C)	Humedad del ambiente promedio (%)	Temperatura del ambiente promedio (°C)	Nivel de iluminación promedio (lux)	Velocidad del viento promedio (m/s)
7:00	55%	23	80%	25	400	1,54
7:30	55%	23	76%	25	400	1,54
8:00	55%	23	76%	26	420	1,54
8:30	55%	23	73%	27	470	1,54
9:00	54%	24	71%	27	490	1,46
9:30	53%	24	69%	28	550	1,46
10:00	53%	25	69%	29	550	1,46
10:30	53%	25	69%	29	600	1,46
11:00	53%	25	69%	28	600	1,39
11:30	53%	26	68%	29	600	1,39
12:00	51%	26	66%	30	690	1,39
12:30	51%	27	66%	30	700	1,39
13:00	51%	27	66%	30	700	1,39
13:30	51%	27	66%	30	750	1,39
14:00	50%	27	65%	30	850	1,43
14:30	50%	27	65%	31	900	1,46
15:00	50%	27	65%	31	900	1,39
15:30	50%	27	66%	31	850	1,43
16:00	50%	27	66%	30	700	1,46
16:30	50%	27	67%	30	700	1,44
17:00	51%	27	69%	30	600	1,43
17:30	51%	27	71%	30	550	1,46
18:00	51%	27	72%	29	450	1,44
18:30	51%	25	73%	29	450	1,46
19:00	51%	25	75%	29	420	1,44

Tabla 4: Promedio de muestras tomadas en un día

Hora	Humedad del suelo promedio (%)	Temperatura del suelo promedio (°C)	Humedad del ambiente promedio (%)	Temperatura del ambiente promedio (°C)	Nivel de iluminación promedio (lux)	Velocidad del viento promedio (m/s)
7:00	53%	23	77%	26	490	1,67
7:30	53%	23	77%	26	490	1,67
8:00	53%	23	76%	26	490	1,67
8:30	52%	24	75%	27	500	1,67
9:00	52%	24	75%	27	500	1,67
9:30	52%	24	75%	27	520	1,67
10:00	51%	25	74%	28	520	1,67
10:30	51%	25	71%	28	560	1,94
11:00	51%	25	71%	28	600	1,94
11:30	51%	25	71%	28	640	1,67
12:00	51%	26	70%	30	640	1,67
12:30	51%	26	70%	30	710	1,67
13:00	51%	27	70%	30	710	1,67
13:30	51%	27	70%	31	790	1,67
14:00	51%	28	70%	31	800	1,67
14:30	50%	28	74%	31	830	1,67
15:00	50%	28	74%	31	900	1,94
15:30	48%	28	72%	31	850	1,94
16:00	48%	29	73%	31	790	1,94
16:30	50%	28	73%	30	770	1,94
17:00	50%	28	73%	30	690	2,22
17:30	50%	28	73%	30	610	2,22
18:00	51%	27	74%	29	550	2,78
18:30	51%	26	74%	29	500	2,78
19:00	51%	26	74%	28	500	2,78

## 5.2.2 GRÁFICOS DE CADA SENSOR

Desde la figura 19 hasta la figura 24 se puede observar la variación de cada una de las variables en un día de pruebas.

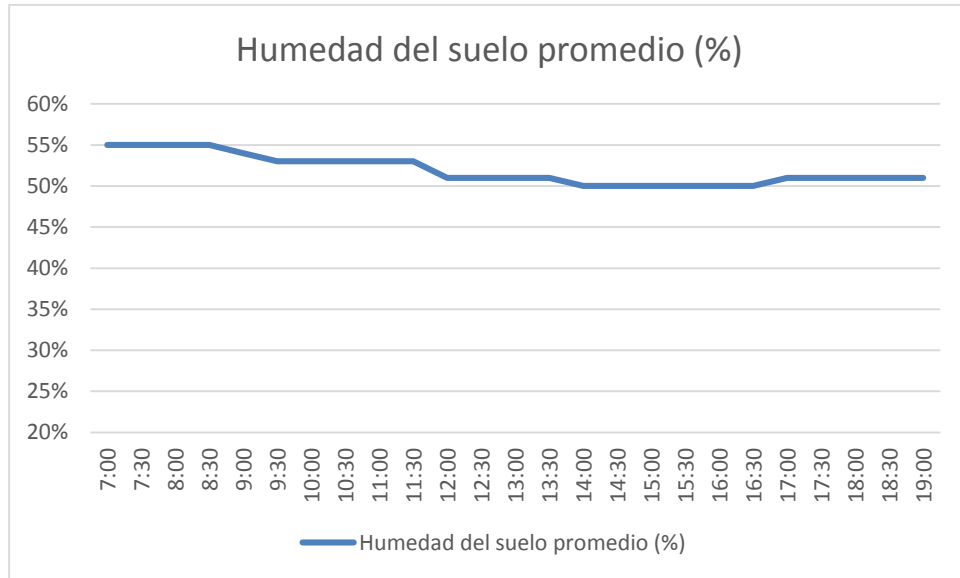


Figura 5. 1: Gráfica de comportamiento de la Humedad del suelo en 12 horas de prueba.



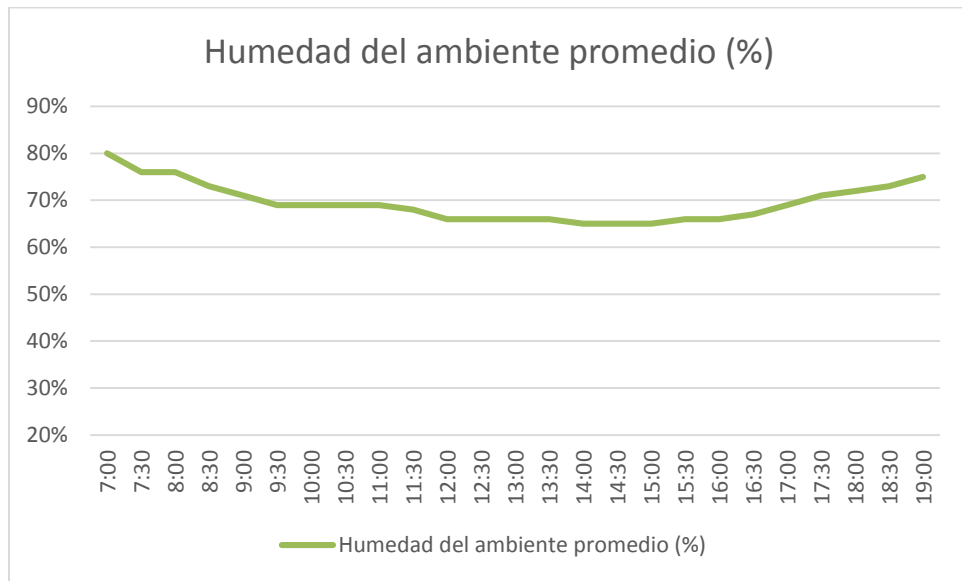


Figura 5. 2: Gráfica del comportamiento de la Humedad del ambiente en 12 horas de prueba.

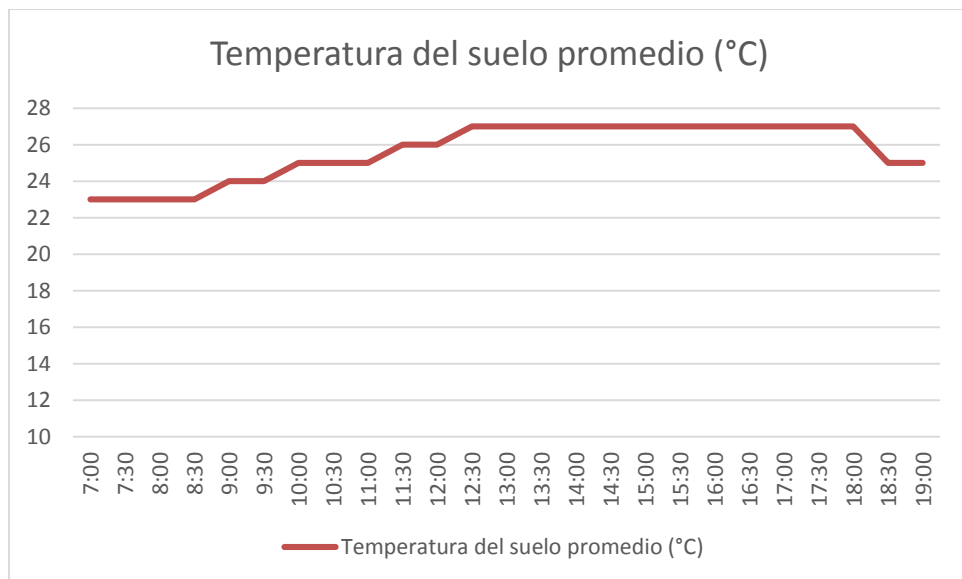


Figura 5. 3: Gráfica del comportamiento de la Temperatura del suelo en 12 horas de prueba.

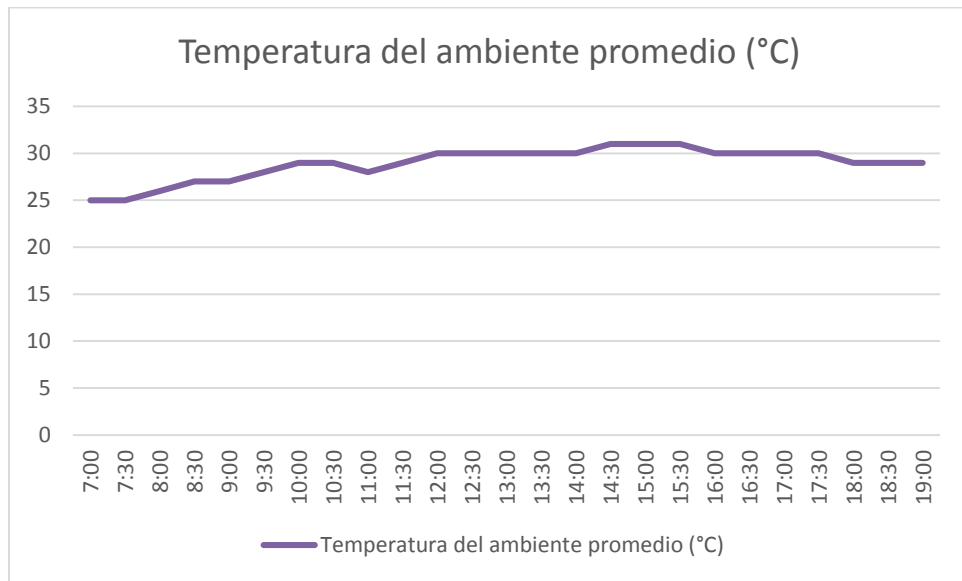


Figura 5. 4: Gráfica del comportamiento de la Temperatura del ambiente en 12 horas de prueba.

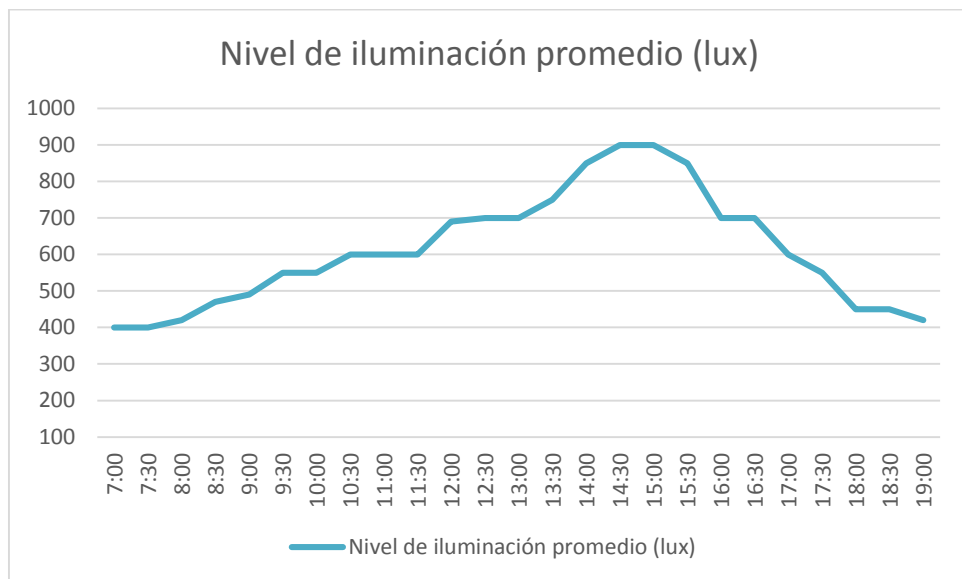


Figura 5. 5: Gráfica del comportamiento del nivel de iluminación en 12 horas de prueba.

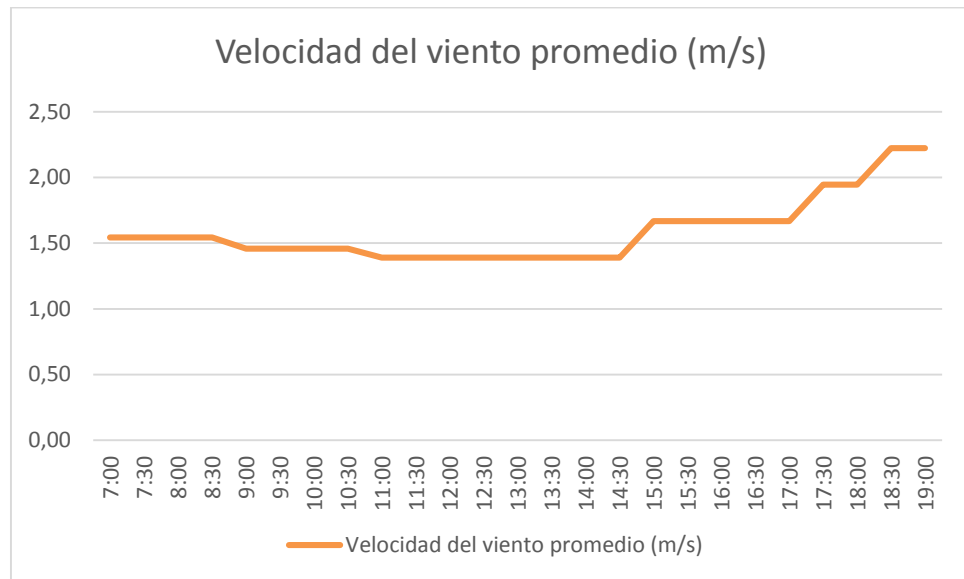


Figura 5. 6: Gráfica del comportamiento de la velocidad del viento en 12 horas de prueba.

Desde la figura 25 hasta la figura 30 se muestran los datos para otro día de pruebas. Se puede notar los cambios en las condiciones climáticas al hacer una comparación con las gráficas mostradas para el primer día de pruebas.

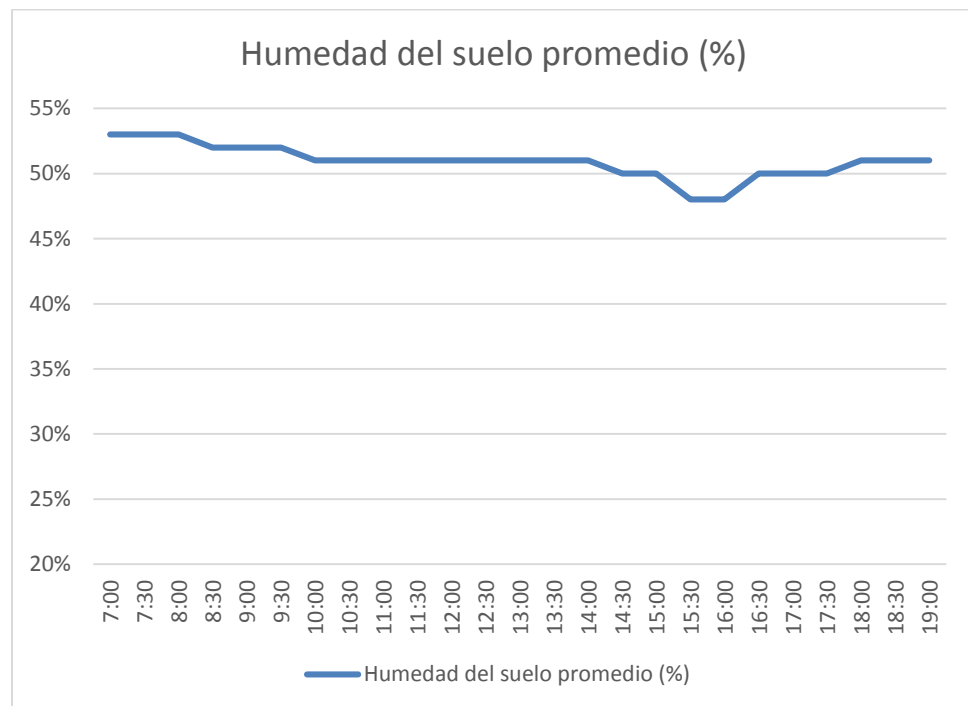


Figura 5. 7: Gráfica del comportamiento de la Humedad del suelo en 12 horas de prueba.

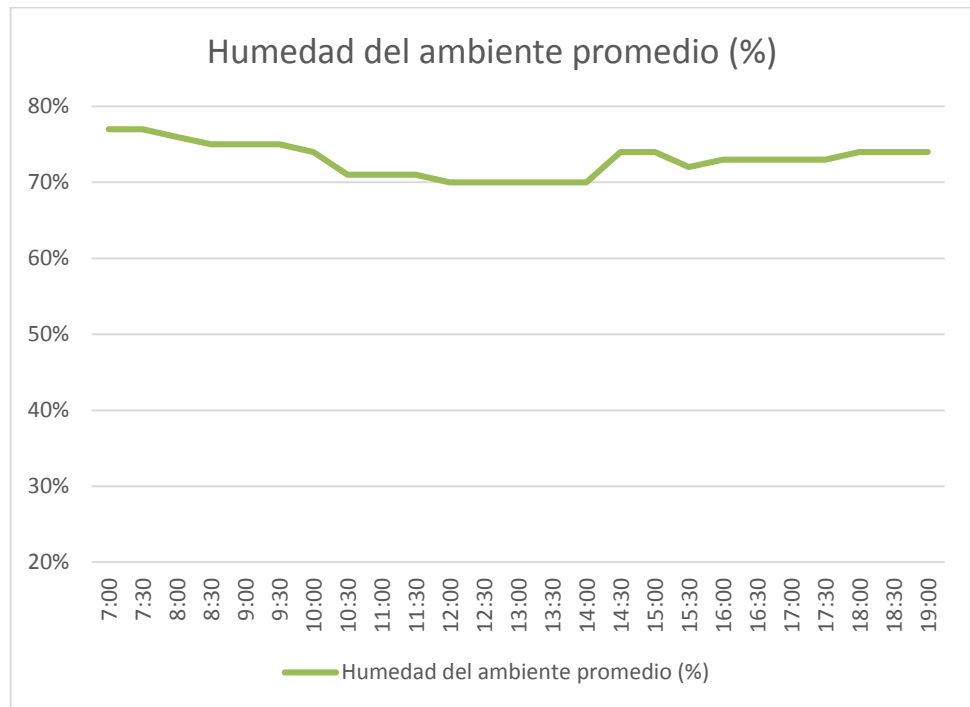


Figura 5. 8: Gráfica del comportamiento de la Humedad del ambiente en 12 horas de prueba.

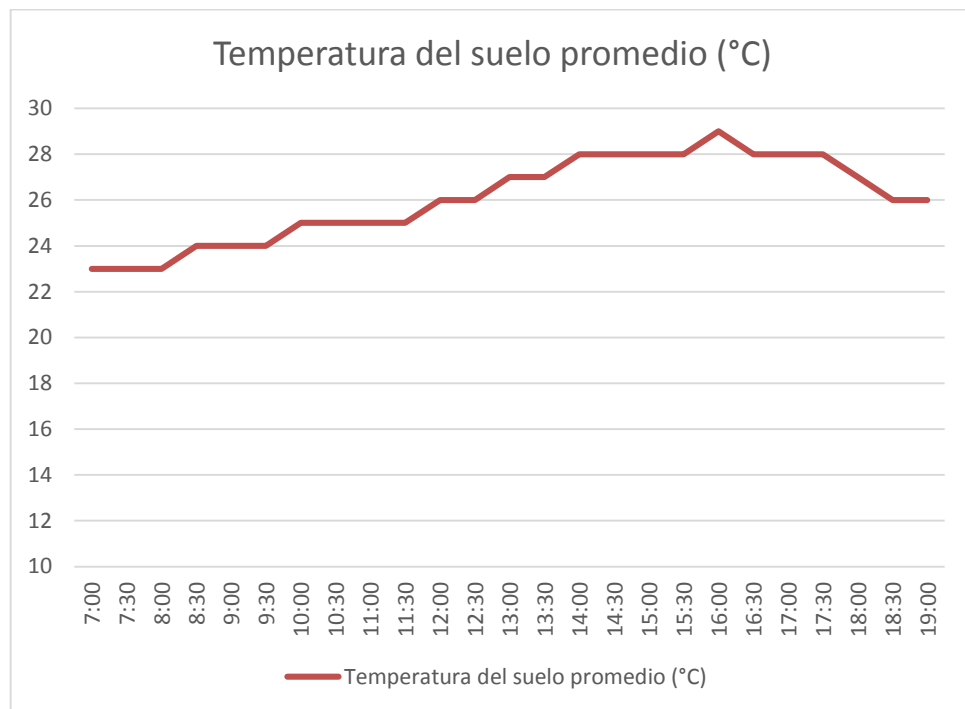


Figura 5. 9 Gráfica del comportamiento de la Temperatura del suelo en 12 horas de prueba

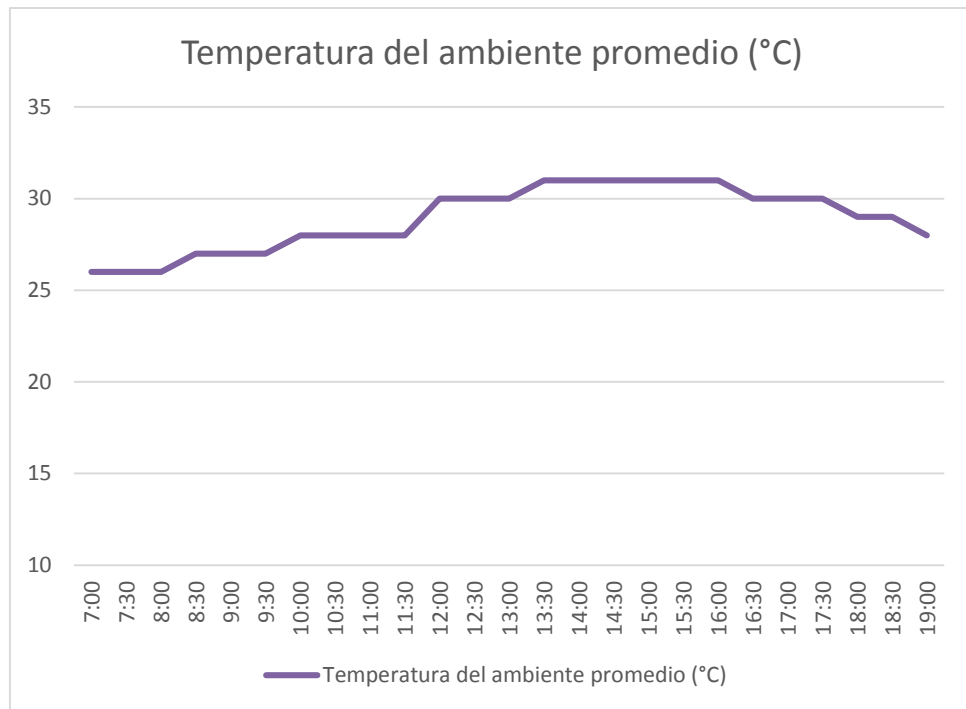


Figura 5. 10: Gráfica del comportamiento de la Temperatura del ambiente en 12 horas de prueba.

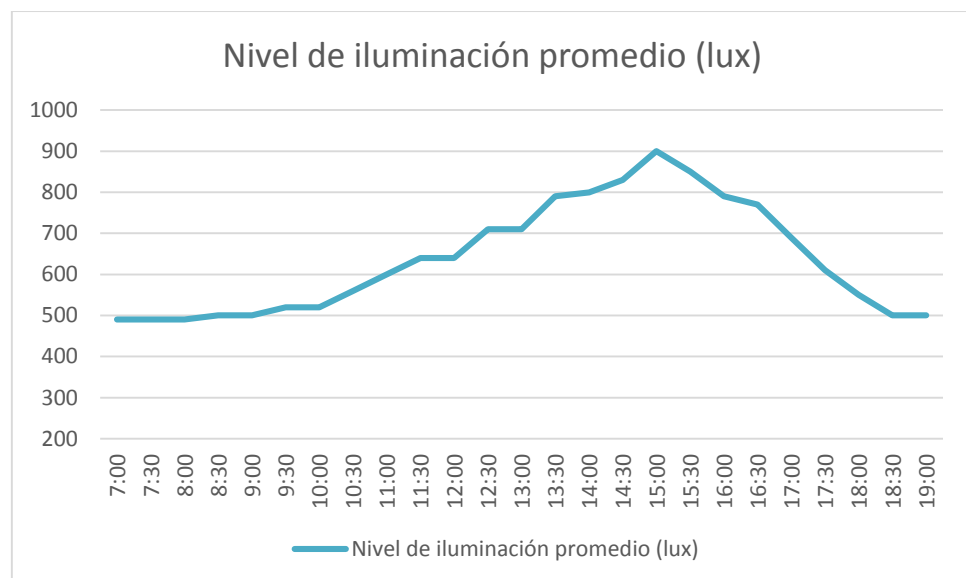


Figura 5. 11: Gráfica del comportamiento del nivel de Iluminación Solar en 12 horas de prueba.

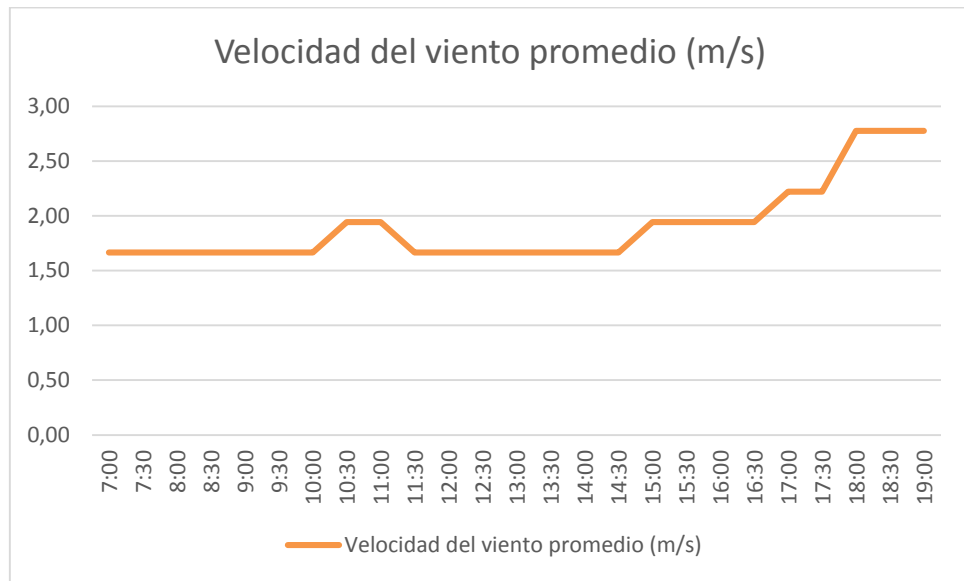


Figura 5. 12: Gráfica del comportamiento de la Velocidad del viento en 12 horas de prueba



## CONCLUSIONES

1. Se ha utilizado y probado la efectividad del sistema embebido BEAGLEBONE BLACK como equipo de adquisición y monitoreo de datos. Se probó que, con un intervalo de muestreo de un minuto es posible tener valores de utilidad para el campo de la agricultura.
2. Se encontró que fue de alta utilidad utilizar el mismo lenguaje de programación para el envío de datos que para la recepción en la base de datos, permitiendo de esa manera una fácil integración de la información desde la tarjeta BBB hasta la base de datos.
3. El sistema embebido diseñado es eficiente durante las pruebas de campo pero cuenta con limitantes. La transmisión hacia una segunda tarjeta que realice el envío de datos al servidor crea una mayor latencia en la adquisición de datos.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda no utilizar frecuencias menores a 30 segundos para no tener pérdida de datos o saturar el canal de comunicación.
2. Se debe notar que para subir los datos al servidor es preferible la conexión via Ethernet en lugar de inalámbrica para evitar la pérdida de datos.
3. Para posteriores trabajos se recomienda agregar variables a la tarjeta BEAGLEBONE BLACK que permitan tener una estimación más precisa de las cualidades atmosféricas que influyen sobre los cultivos.

## BIBLIOGRAFÍA

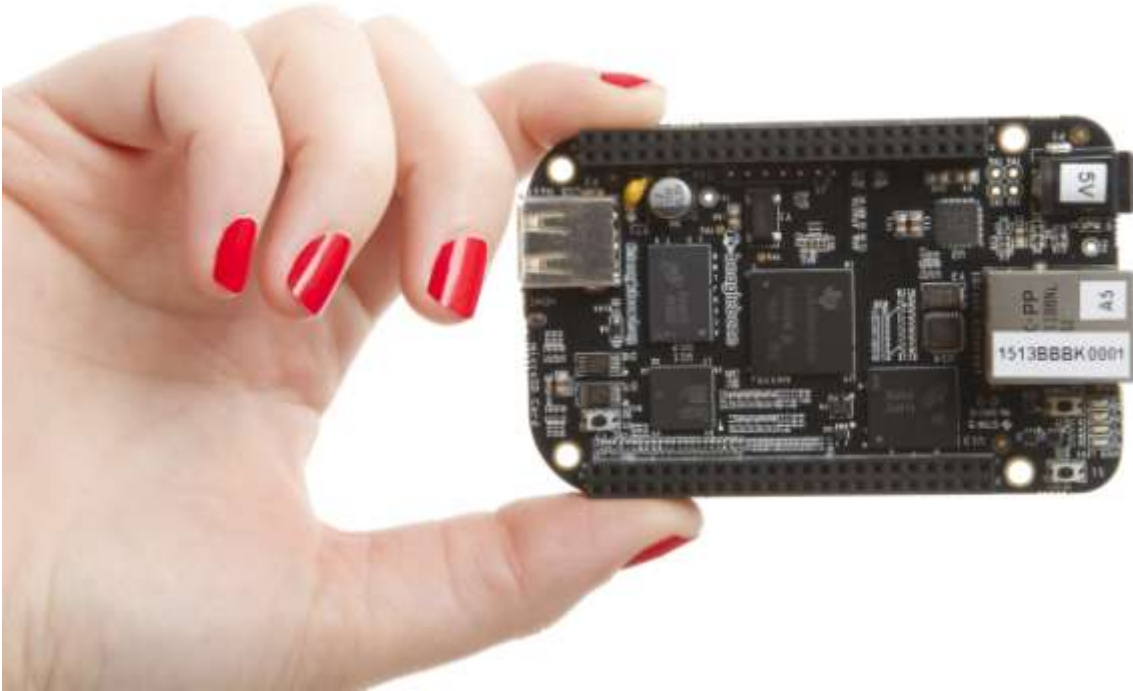
- [1] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, aquastat, Ecuador, [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/ecu](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ecu), Último acceso abril 2015.
- [2] White, E., Making Embedded Systems, <http://goo.gl/eLiuMD>, Último acceso: marzo 2015.
- [3] Geo scientific ltd., Data Logger Fundamentals for Environmental Monitoring Applications, <http://goo.gl/erbuIX>, Último acceso: marzo 2015.
- [4] InfoAgro.com, Control Climático en Invernaderos, [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/control\\_climatico.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm), Último acceso abril 2015.
- [5] Sitio oficial de Linux, What Is Linux: An Overview of the Linux Operating System, <http://goo.gl/0YjOJt>, Último acceso febrero 2015.
- [6] Instituto de Energías Renovables IER, Características de los sistemas Linux, <http://goo.gl/Jh2HLB>, Último acceso: abril 2015.
- [7] Equipo de documentación de Debian, Una Breve Historia de Debian, <https://goo.gl/bfpTD5>, Último acceso: abril 2015.
- [8] Equipo de instalador de Debian, Guía de Instalación de Debian GNU/Linux, <https://goo.gl/7hXWBH>, Último acceso: abril 2015.

- [9] Equipo de desarrollo de Debian, Acerca de Debian, <https://goo.gl/aVrgLn>, Último acceso: abril 2015.
- [10] Equipo de desarrollo de Debian, Debian 8 “Jessie” publicado, <https://goo.gl/HKImUB>, Último acceso: mayo 2015.
- [11] van Rossum, G., El tutorial de Python, <http://goo.gl/lbSR7R>, Último acceso: marzo 2015.
- [12] González Duque, R., Python para Todos, <http://goo.gl/4PFdTB>, Último acceso: febrero 2015.
- [13] CodEval, Most Popular Coding Languages of 2015, <http://goo.gl/V209p0>, Último acceso: mayo 2015.
- [14] Coley, G. BeagleBone Black System, Reference Manual, <http://goo.gl/OxXJd1>, Último acceso: mayo 2015.
- [15] Adafruit, Sitio Oficial de Adafruit, <https://www.adafruit.com/>, Último acceso: mayo 2015.
- [16] Adafruit, Using the Adafruit\_BBIO Library, <https://goo.gl/KUMMTC>, Último acceso: mayo 2015.
- [17] Equipo de desarrollo de Linux, Sitio oficial de Linux, <http://www.linux.com/>, Último acceso: mayo 2015.
- [18] Desarrolladores de Debian, Sitio oficial del Proyecto Debian, <https://www.debian.org/>, Último acceso: mayo 2015.
- [19] Desarrolladores de Python, Sitio oficial del lenguaje de programación Python, <https://www.python.org/>, Último acceso: mayo 2015.

- [20] Digi-key Electronics, Microprocesador Sitara AM3358AZCZ,  
<http://goo.gl/QhKtkL>. Último acceso: mayo 2015.
- [21] Django, Why Django?,  
<https://www.djangoproject.com/start/overview/>. Último acceso: mayo 2015.

# **ANEXOS**

# **ANEXO A**



# BeagleBone Black System Reference Manual

Revision A5.2  
April 11, 2013

Author: Gerald Coley

Contributing Editor: Robert P J Day



---

**THIS DOCUMENT**

---

*This work is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/> or send a letter to Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.*

*All derivative works are to be attributed to Gerald Coley of BeagleBoard.org.*

*For more information, see <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>*

Send all comments and errors concerning this document to the author at  
[gerald@beagleboard.org](mailto:gerald@beagleboard.org)

For other questions you may contact Gerald at:

Gerald Coley  
Texas Instruments  
12500 TI Blvd. Dallas, Tx 75243  
[g-coley1@ti.com](mailto:g-coley1@ti.com)

All information in this document is subject to change without notice.

For an up to date version of this document refer to:

[http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBoneBlack#LATEST PRODUCTION FILES .28A5A.29](http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBoneBlack#LATEST_PRODUCTION_FILES_.28A5A.29)

**BEAGLEBONE DESIGN**

These design materials referred to in this document are **\*NOT SUPPORTED\*** and **DO NOT** constitute a reference design. Only “community” support is allowed via resources at [BeagleBoard.org/discuss](http://BeagleBoard.org/discuss).

THERE IS NO WARRANTY FOR THE DESIGN MATERIALS, TO THE EXTENT PERMITTED BY APPLICABLE LAW. EXCEPT WHEN OTHERWISE STATED IN WRITING THE COPYRIGHT HOLDERS AND/OR OTHER PARTIES PROVIDE THE DESIGN MATERIALS “AS IS” WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. THE ENTIRE RISK AS TO THE QUALITY AND PERFORMANCE OF THE DESIGN MATERIALS IS WITH YOU. SHOULD THE DESIGN MATERIALS PROVE DEFECTIVE, YOU ASSUME THE COST OF ALL NECESSARY SERVICING, REPAIR OR CORRECTION.

This board was designed as an evaluation and development tool. It was not designed with any other application in mind. As such, these design materials may or may not be suitable for any other purposes. If used, the design material becomes your responsibility as to whether or not it meets your specific needs or your specific applications and may require changes to meet your requirements.

## BEAGLEBONE BLACK ADDITIONAL TERMS

BeagleBoard.org, Circuitco, LLC, and BeagleBoard.org (Supplier) provide the enclosed BeagleBone under the following conditions:

The user assumes all responsibility and liability for proper and safe handling of the goods. Further, the user indemnifies Supplier from all claims arising from the handling or use of the goods.

Should the BeagleBone not meet the specifications indicated in the System Reference Manual, the BeagleBone may be returned within 90 days from the date of delivery to the distributor of purchase for a full refund. THE FOREGOING LIMITED WARRANTY IS THE EXCLUSIVE WARRANTY MADE BY SELLER TO BUYER AND IS IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESSED, IMPLIED, OR STATUTORY, INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE. EXCEPT TO THE EXTENT OF THE INDEMNITY SET FORTH ABOVE, NEITHER PARTY SHALL BE LIABLE TO THE OTHER FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES.

Please read the System Reference Manual and, specifically, the Warnings and Restrictions notice in the Systems Reference Manual prior to handling the product. This notice contains important safety information about temperatures and voltages.

No license is granted under any patent right or other intellectual property right of Supplier covering or relating to any machine, process, or combination in which such Supplier products or services might be or are used. The Supplier currently deals with a variety of customers for products, and therefore our arrangement with the user is not exclusive. The Supplier assume no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein.

### UNITED STATES FCC AND CANADA IC REGULATORY COMPLIANCE INFORMATION

**The BeagleBone is annotated to comply with Part 15 of the FCC Rules.**

Operation is subject to the following two conditions: (1) This device may not cause harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation. Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

This Class A or B digital apparatus complies with Canadian ICES-003. Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment. Cet appareil numérique de la classe A ou B est conforme à la norme NMB-003 du Canada. Les changements ou les modifications pas expressément approuvés par la partie responsable de la conformité ont pu vider l'autorité de l'utilisateur pour actionner l'équipement.

## BEAGLEBONE WARNINGS, RESTRICTIONS AND DISCLAIMERS

For Feasibility Evaluation Only, in Laboratory/Development Environments. The BeagleBone Black is not a complete product. It is intended solely for use for preliminary feasibility evaluation in laboratory/development environments by technically qualified electronics experts who are familiar with the dangers and application risks associated with handling electrical mechanical components, systems and subsystems. It should not be used as all or part of a finished end product.

**Your Sole Responsibility and Risk** you acknowledge, represent, and agree that:

1. You have unique knowledge concerning Federal, State and local regulatory requirements (including but not limited to Food and Drug Administration regulations, if applicable) which relate to your products and which relate to your use (and/or that of your employees, affiliates, contractors or designees) of the BeagleBone for evaluation, testing and other purposes.
2. You have full and exclusive responsibility to assure the safety and compliance of your products with all such laws and other applicable regulatory requirements, and also to assure the safety of any activities to be conducted by you and/or your employees, affiliates, contractors or designees, using the BeagleBone. Further, you are responsible to assure that any interfaces (electronic and/or mechanical) between the BeagleBone and any human body are designed with suitable isolation and means to safely limit accessible leakage currents to minimize the risk of electrical shock hazard.
3. Since the BeagleBone is not a completed product, it may not meet all applicable regulatory and safety compliance standards which may normally be associated with similar items. You assume full responsibility to determine and/or assure compliance with any such standards and related certifications as may be applicable. You will employ reasonable safeguards to ensure that your use of the BeagleBone will not result in any property damage, injury or death, even if the BeagleBone should fail to perform as described or expected.

**Certain Instructions.** It is important to operate the BeagleBone Black within Supplier's recommended specifications and environmental considerations per the user guidelines. Exceeding the specified BeagleBone ratings (including but not limited to input and output voltage, current, power, and environmental ranges) may cause property damage, personal injury or death. If there are questions concerning these ratings please contact the Supplier representative prior to connecting interface electronics including input power and intended loads. Any loads applied outside of the specified output range may result in unintended and/or inaccurate operation and/or possible permanent damage to the BeagleBone and/or interface electronics. Please consult the System Reference Manual prior to connecting any load to the BeagleBone output. If there is uncertainty as to the load specification, please contact the Supplier representative. During normal operation, some circuit components may have case temperatures greater than 60 C as long as the input and output are maintained at a normal ambient operating temperature. These components include but are not limited to linear regulators, switching transistors, pass transistors, and current sense resistors which can be identified using the BeagleBone schematic located at the link in the BeagleBone System Reference Manual. When placing measurement probes near these devices during normal operation, please be aware that these devices may be very warm to the touch. As with all electronic evaluation tools, only qualified personnel knowledgeable in electronic measurement and diagnostics normally found in development environments should use the BeagleBone.

**Agreement to Defend, Indemnify and Hold Harmless.** You agree to defend, indemnify and hold the Suppliers, its licensors and their representatives harmless from and against any and all claims, damages, losses, expenses, costs and liabilities (collectively, "Claims") arising out of or in connection with any use of the BeagleBone that is not in

accordance with the terms of the agreement. This obligation shall apply whether Claims arise under law of tort or contract or any other legal theory, and even if the BeagleBone fails to perform as described or expected.

**Safety-Critical or Life-Critical Applications.** If you intend to evaluate the components for possible use in safety critical applications (such as life support) where a failure of the Supplier's product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, such as devices which are classified as FDA Class III or similar classification, then you must specifically notify Suppliers of such intent and enter into a separate Assurance and Indemnity Agreement.

Mailing Address:

BeagleBoard.org  
1380 Presidential Dr. #100  
Richardson, TX 75081  
U.S.A.

**WARRANTY:** *The BeagleBone Black Assembly as purchased is warranted against defects in materials and workmanship for a period of 90 days from purchase. This warranty does not cover any problems occurring as a result of improper use, modifications, exposure to water, excessive voltages, abuse, or accidents. All boards will be returned via standard mail if an issue is found. If no issue is found or express return is needed, the customer will pay all shipping costs.*

Before returning the board, please visit  
[BeagleBoard.org/support](http://BeagleBoard.org/support)

For up to date SW images and technical information refer to  
<http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBoneBlack>

All support for this board is provided via community support at  
[www.beagleboard.org/discuss](http://www.beagleboard.org/discuss)

To return a defective board for repair, please request an RMA at  
<http://beagleboard.org/support/rma>

**Please DO NOT return the board without approval from the RMA team first.**

**All boards received without RMA approval will not be worked on.**

## Table of Contents

<b>FIGURES</b> .....	<b>9</b>
<b>TABLES</b> .....	<b>11</b>
<b>1.0 INTRODUCTION</b> .....	<b>12</b>
<b>2.0 CHANGE HISTORY</b> .....	<b>12</b>
2.1 DOCUMENT CHANGE HISTORY .....	12
2.2 BOARD CHANGES.....	12
2.2.1 Rev A5B.....	12
<b>3.0 CONNECTING UP YOUR BEAGLEBONE BLACK</b> .....	<b>13</b>
3.1 WHAT'S IN THE BOX.....	13
3.2 MAIN CONNECTION SCENARIOS.....	14
3.3 TETHERED TO A PC.....	14
3.3.1 Connect the Cable to the Board.....	15
3.3.2 Accessing the Board as a Storage Drive.....	16
3.4 STANDALONE W/DISPLAY AND KEYBOARD/MOUSE .....	17
3.4.1 Required Accessories.....	17
3.4.2 Connecting Up the Board .....	18
5. Apply Power .....	20
<b>4.0 BEAGLEBONE BLACK OVERVIEW</b> .....	<b>24</b>
4.1 BEAGLEBONE COMPATIBILITY .....	25
4.2 BEAGLEBONE BLACK FEATURES AND SPECIFICATION.....	26
4.3 BOARD COMPONENT LOCATIONS.....	27
4.3.1 Connectors, LEDs, and Switches.....	27
4.3.2 Key Components.....	28
<b>5.0 BEAGLEBONE BLACK HIGH LEVEL SPECIFICATION</b> .....	<b>29</b>
5.1 BLOCK DIAGRAM.....	29
5.2 PROCESSOR.....	30
5.3 MEMORY.....	30
5.3.1 512MB DDR3L.....	30
5.3.2 32KB EEPROM.....	30
5.3.3 2GB Embedded MMC.....	30
5.3.4 MicroSD Connector.....	30
5.3.5 Boot Modes.....	31
5.4 POWER MANAGEMENT.....	31
5.5 PC USB INTERFACE.....	32
5.6 SERIAL DEBUG PORT .....	32
5.7 USB1 HOST PORT.....	32
5.8 POWER SOURCES .....	32
5.9 RESET BUTTON .....	33
5.10 POWER BUTTON.....	33
5.11 INDICATORS .....	33
5.12 CTI JTAG HEADER.....	33
5.13 HDMI INTERFACE.....	34
5.14 CAPE BOARD SUPPORT.....	34
<b>6.0 DETAILED HARDWARE DESIGN</b> .....	<b>35</b>
6.1 POWER SECTION .....	36
6.1.1 TPS65217C PMIC.....	36
6.1.2 DC Input.....	38

6.1.3	USB Power .....	39
6.1.4	Power Selection .....	39
6.1.5	Power Button .....	40
6.1.6	Battery Access Pads .....	40
6.1.7	Power Consumption .....	41
6.1.8	Processor Interfaces .....	41
6.1.9	Power Rails .....	43
6.1.10	Power LED .....	46
6.1.11	TPS65217C Power Up Process .....	46
6.1.12	Processor Control Interface .....	47
6.1.13	Low Power Mode Support .....	47
6.2	SITARA XAM3359AZCZ100 PROCESSOR .....	48
6.2.1	Description .....	48
6.2.2	High Level Features .....	49
6.2.3	Documentation .....	49
6.3	DDR3L MEMORY .....	50
6.3.1	Memory Device .....	50
6.3.2	DDR3L Memory Design .....	50
6.3.3	Power Rails .....	52
6.3.4	VREF .....	52
6.4	2GB EMMC MEMORY .....	53
6.4.1	eMMC Device .....	53
6.4.2	eMMC Circuit Design .....	54
6.5	MICRO SECURE DIGITAL .....	55
6.5.1	uSD Design .....	55
6.6	USER LEADS .....	56
6.7	BOOT CONFIGURATION .....	57
6.7.1	Boot Configuration Design .....	57
6.7.2	Default Boot Options .....	58
6.8	10/100 ETHERNET .....	59
6.8.1	Ethernet Processor Interface .....	59
6.8.2	Ethernet Connector Interface .....	60
6.8.3	LAN8710A Mode Pins .....	62
6.9	HDMI INTERFACE .....	63
6.9.1	Supported Resolutions .....	63
6.9.2	HDMI Framer .....	63
6.9.3	HDMI Video Processor Interface .....	64
6.9.4	HDMI Control Processor Interface .....	65
6.9.5	Interrupt Signal .....	65
6.9.6	Audio Interface .....	65
6.9.7	Power Connections .....	66
6.9.8	HDMI Connector Interface .....	67
<b>7.0</b>	<b>CONNECTORS .....</b>	<b>68</b>
7.1	EXPANSION CONNECTORS .....	68
7.1.1	Connector P8 .....	69
7.1.2	Connector P9 .....	71
7.2	POWER JACK .....	73
7.3	USB CLIENT .....	74
7.4	USB HOST .....	75
7.5	SERIAL HEADER .....	76
7.6	HDMI .....	78
7.7	MICROSD .....	79
7.8	ETHERNET .....	80
<b>8.0</b>	<b>CAPE BOARD SUPPORT .....</b>	<b>81</b>

8.1	BEAGLEBONEBLACK CAPE COMPATIBILITY.....	82
8.1.1	LCD Pins.....	82
8.1.2	eMMC Pins.....	83
8.2	EEPROM.....	84
8.2.1	EEPROM Address.....	85
8.2.2	I2C Bus.....	85
8.2.3	EEPROM Write Protect.....	85
8.2.4	EEPROM Data Format.....	87
8.2.5	Pin Usage.....	88
8.3	PIN USAGE CONSIDERATION.....	92
8.3.1	Boot Pins.....	92
8.4	EXPANSION CONNECTORS.....	93
8.4.1	Non-Stacking Headers-Single Cape.....	93
8.4.2	Main Expansion Headers-Stacking.....	94
8.4.3	Stacked Capes w/Signal Stealing.....	95
8.4.4	Retention Force.....	96
8.4.5	BeagleBone Black Female Connectors.....	96
8.5	SIGNAL USAGE.....	97
8.6	CAPE POWER.....	97
8.6.1	Main Board Power.....	97
8.6.2	Expansion Board External Power.....	98
8.7	MECHANICAL.....	98
8.7.1	Standard Cape Size.....	98
8.7.2	Extended Cape Size.....	99
8.7.3	Enclosures.....	100
<b>9.0</b>	<b>BEAGLEBONE BLACK MECHANICAL.....</b>	<b>101</b>
9.1	DIMENSIONS AND WEIGHT.....	101
9.2	SILKSCREEN AND COMPONENT LOCATIONS.....	102
<b>10.0</b>	<b>PICTURES.....</b>	<b>105</b>
<b>11.0</b>	<b>SUPPORT INFORMATION.....</b>	<b>107</b>
11.1	HARDWARE DESIGN.....	107
11.2	SOFTWARE UPDATES.....	107
11.3	RMA SUPPORT.....	108

## Figures

Figure 1.	In The Box.....	13
Figure 2.	Tethered Configuration.....	14
Figure 3.	USB Connection to the Board.....	15
Figure 4.	Board Power LED.....	15
Figure 5.	Board Boot Status.....	16
Figure 6.	Desktop Configuration.....	17
Figure 7.	Connect microHDMI Cable to the Monitor.....	18
Figure 8.	DVI-D to HDMI Adapter.....	18
Figure 9.	Wireless Keyboard and Mouse Combo.....	19
Figure 10.	Connect Keyboard and Mouse Receiver to the Board.....	19
Figure 11.	Keyboard and Mouse Hubs.....	19
Figure 12.	Ethernet Cable Connection.....	20





Figure 13.	External DC Power .....	20
Figure 14.	Connect microHDMI Cable to the Board .....	21
Figure 15.	Board Boot Status .....	22
Figure 16.	Desktop Screen .....	23
Figure 17.	Connectors, LEDs and Switches .....	27
Figure 18.	Key Components .....	28
Figure 19.	BeagleBone Black Key Components .....	29
Figure 20.	BeagleBone Black Block Diagram .....	35
Figure 21.	High Level Power Block Diagram .....	36
Figure 22.	TPS65217C Block Diagram .....	37
Figure 23.	TPS65217 DC Connection .....	38
Figure 24.	USB Power Connections .....	39
Figure 25.	Power Rails .....	43
Figure 26.	Power Rail Power Up Sequencing .....	45
Figure 27.	TPS6517C Power Sequencing Timing .....	45
Figure 28.	Power Processor Interfaces .....	46
Figure 29.	Sitara XAM3359AZCZ Block Diagram .....	48
Figure 30.	DDR3L Memory Design .....	51
Figure 31.	DDR3L VREF Design .....	52
Figure 32.	eMMC Memory Design .....	54
Figure 33.	uSD Design .....	55
Figure 34.	User LEDs .....	56
Figure 35.	Processor Boot Configuration Design .....	57
Figure 36.	Processor Boot Configuration .....	58
Figure 37.	Ethernet Processor Interface .....	59
Figure 38.	Ethernet Connector Interface .....	60
Figure 39.	Ethernet PHY, Power, Reset, and Clocks .....	61
Figure 40.	Ethernet PHY Mode Pins .....	62
Figure 41.	HDMI Framer Processor Interface .....	64
Figure 42.	HDMI Power Connections .....	66
Figure 43.	Connector Interface Circuitry .....	67
Figure 44.	Expansion Connector Location .....	68
Figure 45.	5VDC Power Jack .....	73
Figure 46.	USB Client Connector .....	74
Figure 47.	USB Host Connector .....	75
Figure 48.	Serial Debug Header .....	76
Figure 49.	FTDI USB to Serial Adapter .....	76
Figure 50.	HDMI Connector .....	78
Figure 51.	HDMI Connector .....	78
Figure 52.	uSD Connector .....	79
Figure 53.	Ethernet Connector .....	80
Figure 54.	Expansion Board EEPROM Without Write Protect .....	84
Figure 55.	Expansion Board EEPROM Write Protect .....	86
Figure 56.	Expansion Boot Pins .....	92
Figure 57.	Single Expansion Connector .....	93
Figure 58.	Single Cape Expansion Connector .....	94



Figure 59.	Expansion Connector .....	94
Figure 60.	Stacked Cape Expansion Connector .....	95
Figure 61.	Stacked w/Signal Stealing Expansion Connector .....	96
Figure 62.	Connector Pin Insertion Depth.....	96
Figure 63.	Cape Board Dimensions .....	99
Figure 64.	Board Dimensions.....	102
Figure 65.	Component Side Silkscreen .....	103
Figure 66.	Component Side Silkscreen .....	104
Figure 67.	Top Side.....	105
Figure 68.	Bottom Side .....	106
Figure 69.	Bottom Side .....	108

## Tables

Table 1.	Change History .....	12
Table 2.	BeagleBone Black Features .....	26
Table 3.	BeagleBone Black Battery Pins .....	40
Table 4.	BeagleBone Black Power Consumption(mA@5V).....	41
Table 5.	Processor Features .....	49
Table 6.	eMMC Boot Pins .....	54
Table 7.	User LED Control Signals/Pins .....	56
Table 8.	HDMI Supported Monitor Resolutions .....	63
Table 9.	TDA19988 I2C Address .....	65
Table 10.	Expansion Header P8 Pinout .....	70
Table 11.	Expansion Header P9 Pinout .....	72
Table 12.	P8 LCD Conflict Pins .....	82
Table 13.	P8 eMMC Conflict Pins.....	83
Table 14.	Expansion Board EEPROM.....	87
Table 15.	EEPROM Pin Usage.....	89
Table 16.	Single Cape Connectors.....	94
Table 17.	Stacked Cape Connectors .....	95
Table 18.	Expansion Voltages .....	97

## 1.0 Introduction

This document is the **System Reference Manual** for the BeagleBone Black and covers its use and design. The board will primarily be referred to in the remainder of this document simply as the board, although it may also be referred to as the BeagleBone Black as a reminder. There are also references to the original BeagleBone as well, and will be referenced as simply BeagleBone.

This design is subject to change without notice as we will work to keep improving the design as the product matures based on feedback and experience. Software updates will be frequent and will be independent of the hardware revisions and as such not result in a change in the revision number.

Make sure you check the support Wiki frequently for the most up to date information.

<http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBoneBlack>

## 2.0 Change History

This section describes the change history of this document and board. Document changes are not always a result of a board change. But a board change will always result in a document change.

### 2.1 Document Change History

**Table 1. Change History**

Rev	Changes	Date	By
A4	Preliminary	January 4, 2013	GC
A5	Production release	January 8, 2013	GC
A5.1	<ol style="list-style-type: none"> <li>Added information on Power button and the battery access points.</li> <li>Final production released version.</li> </ol>	April 1 2013	GC
A5.2	<ol style="list-style-type: none"> <li>Edited version.</li> <li>Added numerous pictures of the Rev A5A board.</li> </ol>	April 23 2013	GC

### 2.2 Board Changes

#### 2.2.1 Rev A5B

This is the initial production release of the board. We will be tracking changes from this point forward.

### 3.0 Connecting Up Your BeagleBone Black

This section provides instructions on how to hook up your board. Two scenarios will be discussed:

- 1) Tethered to a PC and
- 2) As a standalone development platform in a desktop PC configuration.

#### 3.1 What's In the Box

In the box you will find three main items as shown in **Figure 1**.

- BeagleBone Black
- miniUSB to USB Type A Cable
- Instruction card

3

This is sufficient for the tethered scenario and creates an out of box experience where the board can be used immediately with no other equipment needed.



Figure 1. In The Box

### 3.2 Main Connection Scenarios

This section will describe how to connect the board for use. This section is basically a slightly more detailed description of the Quick Start Guide that came in the box. There is also a Quick Start Guide document on the board that should also be referred. The intent here is that someone looking to purchase the board will be able to read this section and get a good idea as to what the initial set up will be like.

The board can be configured in several different ways, but we will discuss the two most common scenarios as described in the Quick Start Guide card that comes in the box.

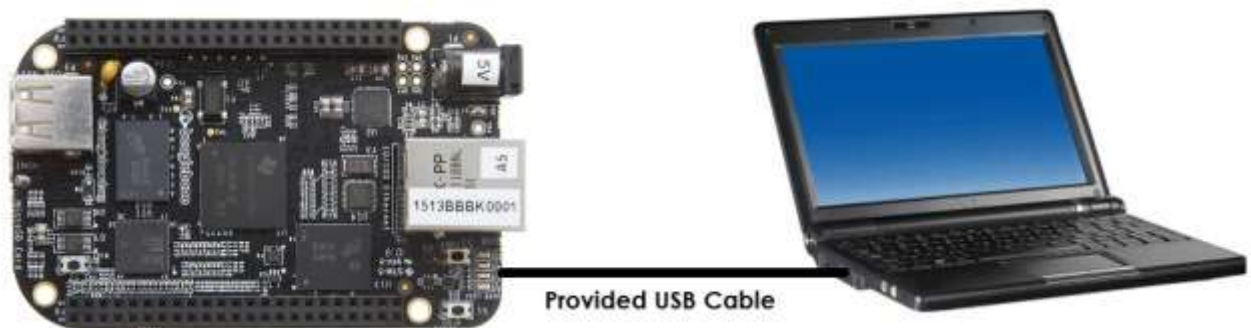
- Tethered to a PC via the USB cable
  - Board is accessed as a storage drive
  - Or a RNDIS Ethernet connection.
- Standalone desktop
  - Display
  - Keyboard and mouse
  - External 5V power supply

Each of these configurations is discussed in general terms in the following sections.

For an up-to-date list of confirmed working accessories please go to [http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBone\\_Black\\_Accessories](http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBone_Black_Accessories)

### 3.3 Tethered To A PC

In this configuration, the board is powered by the PC via the provided USB cable--no other cables are required. The board is accessed either as a USB storage drive or via the browser on the PC. You need to use either Firefox or Chrome on the PC, IEx will not work properly. **Figure 2** shows this configuration.



**Figure 2. Tethered Configuration**

All the power for the board is provided by the PC via the USB cable. In some instances, the PC may not be able to supply sufficient power for the board. In that case, an external 5VDC power supply can be used, but this should rarely be necessary.

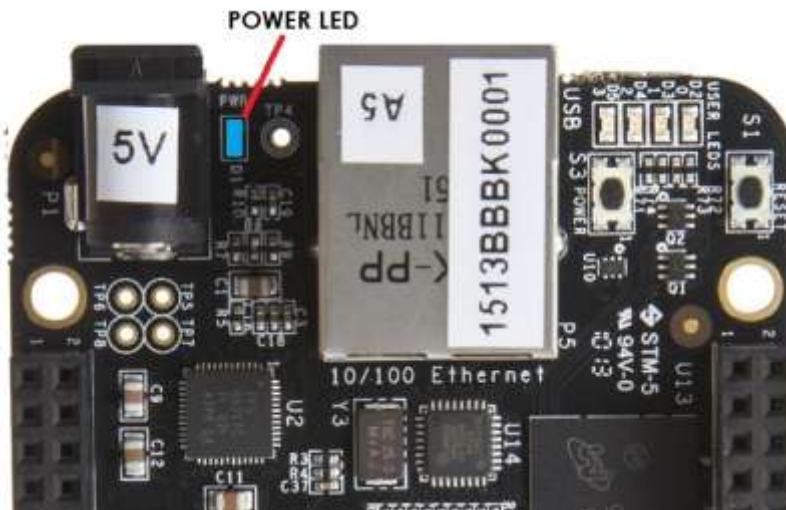
### 3.3.1 Connect the Cable to the Board

1. Connect the small connector on the USB cable to the board as shown in **Figure 4**. The connector is on the bottom side of the board.



**Figure 3. USB Connection to the Board**

2. Connect the large connector of the USB cable to your PC or laptop USB port.
3. The board will power on and the power LED will be on as shown in **Figure 4** below.



**Figure 4. Board Power LED**

- When the board starts to boot the LEDs will come on in sequence as shown in **Figure 5** below. It will take a few seconds for the status LEDs to come on, so be patient. The LEDs will be flashing in an erratic manner as it boots the Linux kernel.



Figure 5. Board Boot Status

### 3.3.2 Accessing the Board as a Storage Drive

The board will appear around a USB Storage drive on your PC after the kernel has booted, which will take a round 10 seconds. The kernel on the board needs to boot before the port gets enumerated. Once the board appears as a storage drive, do the following:

- Open the USB Drive folder.
- Click on the file named **start.html**
- The file will be opened by your browser on the PC and you should get a display showing the Quick Start Guide.
- Your board is now operational! Follow the instructions on your PC screen.

### 3.4 Standalone w/Display and Keyboard/Mouse

In this configuration, the board works more like a PC, totally free from any connection to a PC as shown in **Figure 6**. It allows you to create your code to make the board do whatever you need it to do. It will however require certain common PC accessories. These accessories and instructions are described in the following section.



**Figure 6. Desktop Configuration**

Optionally an Ethernet cable can also be used for network access.

#### 3.4.1 Required Accessories

In order to use the board in this configuration, you will need the following accessories:

- (1) 5VDC 1A power supply
- (1) HDMI monitor or a DVI-D monitor with an adapter. (**NOTE:** Only HDMI will give you audio capability).
- (1) Micro HDMI to HDMI cable
- (1) USB wireless keyboard and mouse combo.
- (1) USB HUB (OPTIONAL). The board has only one USB host port, so you may need to use a USB Hub if your keyboard and mouse requires two ports.



For an up-to-date list of confirmed working accessories please go to [http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBone\\_Black\\_Accessories](http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBone_Black_Accessories)

### 3.4.2 Connecting Up the Board

1. Connect the big end of the HDMI cable as shown in **Figure 7** to your HDMI monitor. Refer to your monitor Owner's Manual for the location of your HDMI port. If you have a DVI-D Monitor go to **Step 3**, otherwise proceed to **Step 4**.



**Figure 7. Connect microHDMI Cable to the Monitor**

**NOTE: Do not plug in the cable to the board until after the board is powered up.**

2. If you have a DVI-D monitor you must use a DVI-D to HDMI adapter in addition to your HDMI cable. An example is shown in **Figure 8** below from two perspectives.

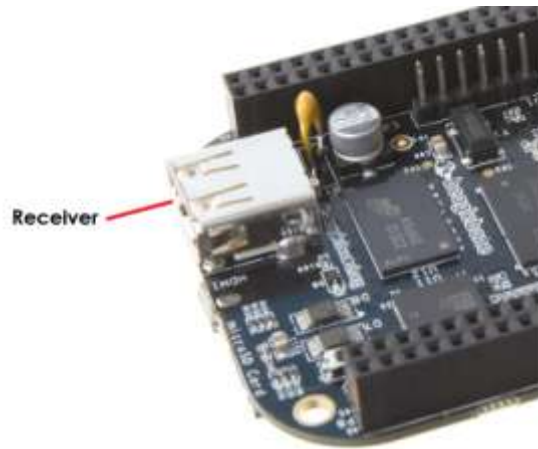


**Figure 8. DVI-D to HDMI Adapter**

3. If you have a single wireless keyboard and mouse combination such as seen in Figure 9 below, you need to plug the receiver in the USB host port of the board as shown in Figure 10.



**Figure 9. Wireless Keyboard and Mouse Combo**



**Figure 10. Connect Keyboard and Mouse Receiver to the Board**

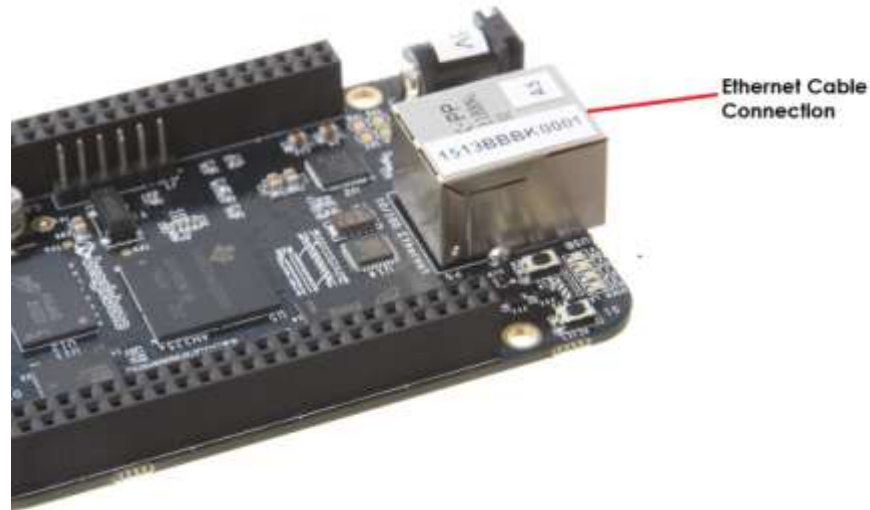
If you have a wired USB keyboard requiring two USB ports, you will need a HUB similar to the ones shown in Figure 11. You may want to have more than one port for other devices. Note that the board can only supply up to 500mA, so if you plan to load it down, it will need to be externally powered.



**Figure 11. Keyboard and Mouse Hubs**

4. Connect the Ethernet Cable

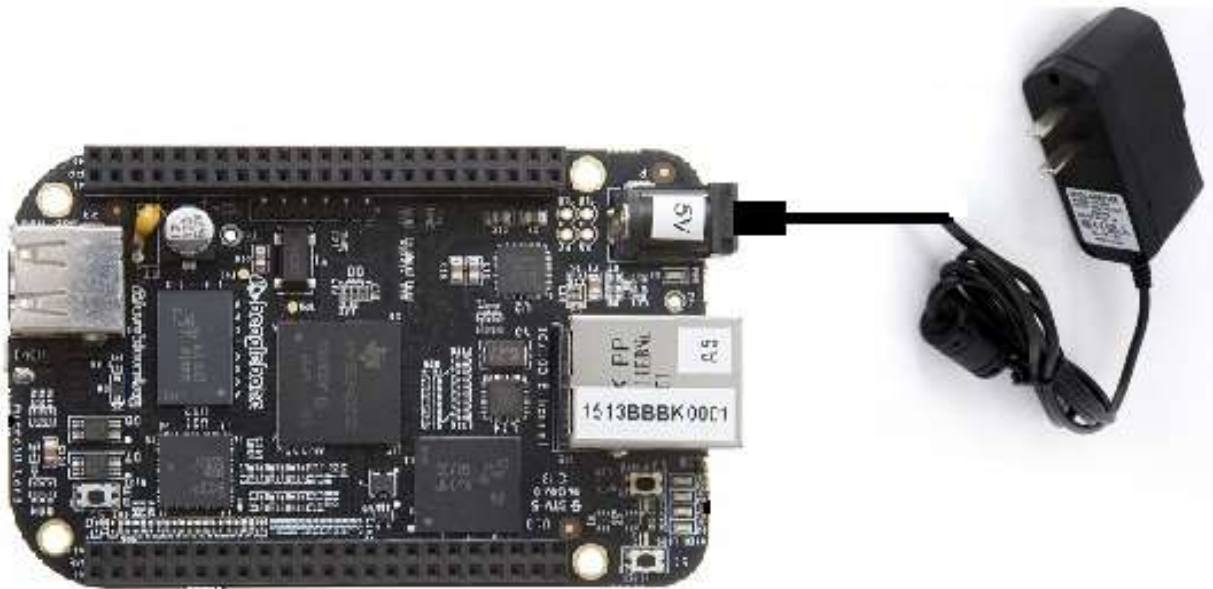
If you decide you want to connect to your local area network, an Ethernet cable can be used. Connect the Ethernet Cable to the Ethernet port as shown in **Figure 12**. Any standard 100M Ethernet cable should work.



**Figure 12. Ethernet Cable Connection**

### 5. Apply Power

The final step is to plug in the DC power supply to the DC power jack as shown in **Figure 13** below.



**Figure 13. External DC Power**

- The cable needed to connect to your display is a microHDMI to HDMI. Connect the microHDMI connector end to the board at this time. The connector is on the bottom side of the board as shown in **Figure 14** below.



**Figure 14. Connect microHDMI Cable to the Board**

The connector is fairly robust, but we suggest that you not use the cable as a leash for your Beagle. Take proper care not to put too much stress on the connector or cable.

- Booting the Board

As soon as the power is applied to the board, it will start the booting up process. When the board starts to boot the LEDs will come on in sequence as shown in **Figure 15** below. It will take a few seconds for the status LEDs to come on, so be patient. The LEDs will be flashing in an erratic manner as it boots the Linux kernel.



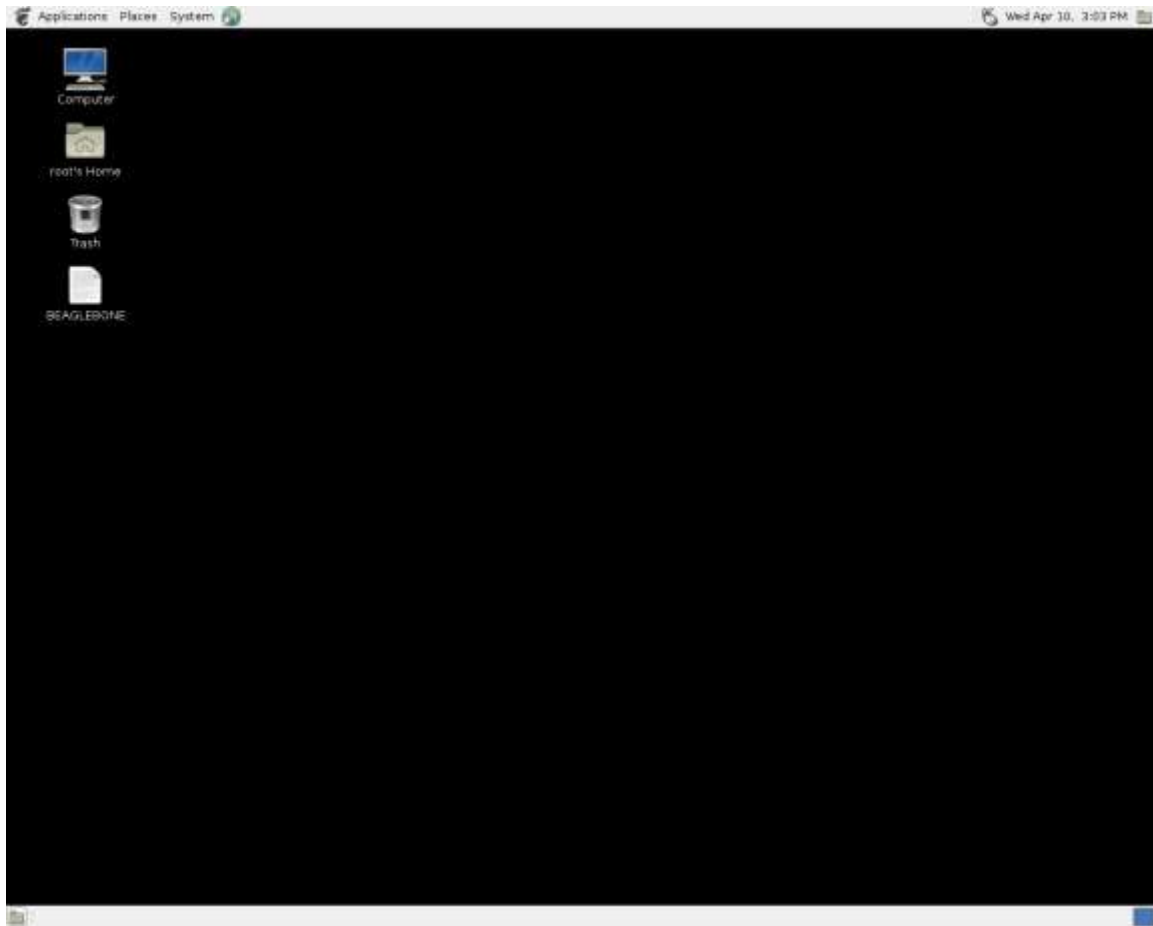
### Figure 15. Board Boot Status

While the four user LEDs can be over written and used as desired, they do have specific meanings in the image that is shipped with the board once the Linux kernel has booted.

- **USER0** is the heartbeat indicator from the Linux kernel.
- **USER1** turns on when the SD card is being accessed
- **USER2** is an activity indicator. It turns on when the kernel is not in the idle loop.
- **USER3** turns on when the onboard eMMC is being accessed.

#### 8. A Booted System

1. The board will have a mouse pointer appear on the screen as it enters the Linux boot step. You may have to move the physical mouse to get the mouse pointer to appear. The system can come up in the suspend mode with the HDMI port in a sleep mode.
2. After a minute or two a login screen will appear. You do not have to do anything at this point.
3. After a minute or two the desktop will appear. It should be similar to the one shown in **Figure 16**. HOWEVER, it will change from one release to the next, so do not expect your system to look exactly like the one in the figure, but it will be very similar.
4. And at this point you are ready to go! **Figure 16** shows the desktop after booting.



**Figure 16. Desktop Screen**

NOTE: At press time this is what the default screen looks like. If you see something different, do not be alarmed. It is intended. Once the final screen is finalized, this document will be updated and available for download.

## 4.0 BeagleBone Black Overview

The BeagleBone Black is the latest addition to the BeagleBoard.org family and like its predecessors, is designed to address the Open Source Community, early adopters, and anyone interested in a low cost ARM Cortex-A8 based processor.

It has been equipped with a minimum set of features to allow the user to experience the power of the processor and is not intended as a full development platform as many of the features and interfaces supplied by the processor are not accessible from the BeagleBone Black via onboard support of some interfaces. It is not a complete product designed to do any particular function. It is a foundation for experimentation and learning how to program the processor and to access the peripherals by the creation of your own software and hardware.

It also offers access to many of the interfaces and allows for the use of add-on boards called capes, to add many different combinations of features. A user may also develop their own board or add their own circuitry.

BeagleBone Black is manufactured and warranted by Circuitco LLC in Richardson Texas for the benefit of the community and its supporters. In addition, Circuitco provides the RMA support for the BeagleBone Black.

Jason Kridner of Texas Instruments handles the community promotions and is the spokesmen for BeagleBoard.org.

The board is designed by Gerald Coley, an employee of Texas Instruments and a charter member of the BeagleBoard.org community.

The PCB layout was done by Circuitco and Circuitco is the sole funder of its development and transition to production.

The Software is written and supported by the thousands of community members, including Jason Kridner, employees of Texas Instruments, DigiKey, and Circuitco.

## 4.1 BeagleBone Compatibility

The board is intended to be compatible with the original BeagleBone as much as possible. There are several areas where there are differences between the two designs. These differences are listed below, along with the reasons for the differences.

- Sitara XAM3359AZCZ100, 1GHZ, processor.
  - Sorry, we just had to make it faster.
- 512MB DDR3L
  - Cost reduction
  - Performance boost
  - Memory size increase
  - Lower power
- No Serial port by default.
  - Cost reduction
  - Can be added by buying a TTL to USB Cable that is widely available
  - Single most cost reduction action taken
- No JTAG emulation over USB.
  - Cost reduction
  - JTAG header is not populated, but can easily be mounted.
- Onboard Managed NAND (eMMC)
  - 2GB
  - Cost reduction
  - Performance boost x8 vs. x4 bits
  - Performance boost due to deterministic properties vs. SD card
- GPMC bus may not be accessible from the expansion headers in some cases
  - Result of eMMC on the main board
  - Signals are still routed to the expansion connector
  - If eMMC is not used, signals can be used via expansion if eMMC is held in reset
- There may be 10 less GPIO pins available
  - Result of eMMC
  - If eMMC is not used, could still be used
- The power expansion header, for battery and backlight, has been removed
  - Cost reduction
  - Space reduction
  - Four pins were added to provide access to the battery charger function.
- HDMI interface onboard
  - Feature addition
  - Audio and video capable
  - Micro HDMI
- No three function USB cable
  - Cost reduction



## 4.2 BeagleBone Black Features and Specification

This section covers the specifications and features of the board and provides a high level description of the major components and interfaces that make up the board.

Table 2 provides a list of the features.

**Table 2. BeagleBone Black Features**

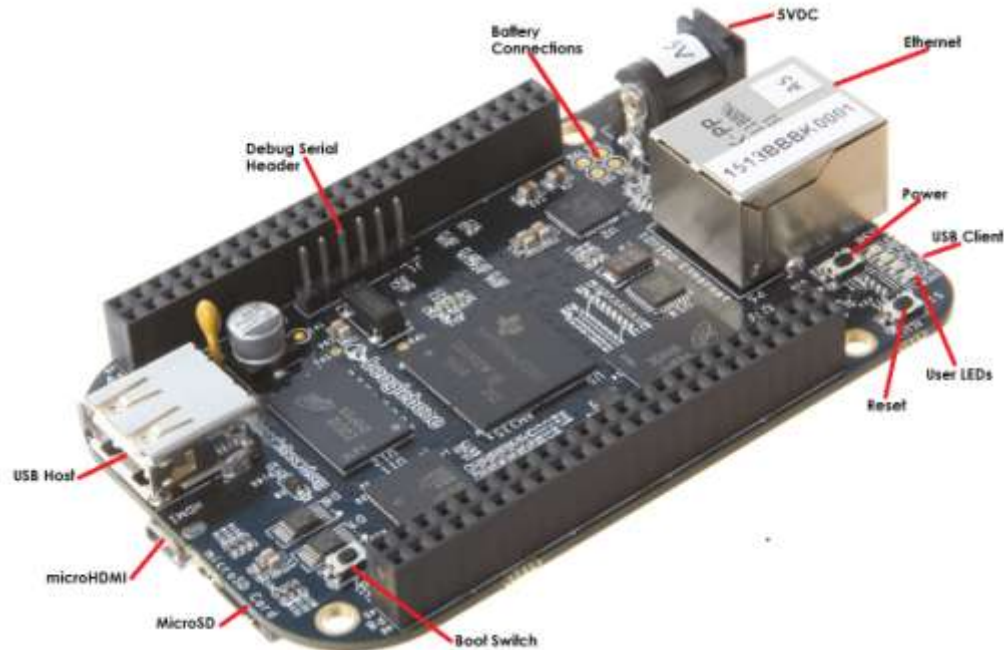
	Feature	
Processor	Sitara AM3359AZCZ100 1GHz, 2000 MIPS	
Graphics Engine	SGX530 3D, 20M Polygons/S	
SDRAM Memory	512MB DDR3L 606MHZ	
Onboard Flash	2GB, 8bit Embedded MMC	
PMIC	TPS65217C PMIC regulator and one additional LDO.	
Debug Support	Optional Onboard 20-pin CTI JTAG, Serial Header	
Power Source	miniUSB USB or DC Jack	5VDC External Via Expansion Header
PCB	3.4" x 2.1"	6 layers
Indicators	1-Power, 2-Ethernet, 4-User Controllable LEDs	
HS USB 2.0 Client Port	Access to USB0, Client mode via miniUSB	
HS USB 2.0 Host Port	Access to USB1, Type A Socket, 500mA LS/FS/HS	
Serial Port	UART0 access via 6 pin 3.3V TTL Header. Header is populated	
Ethernet	10/100, RJ45	
SD/MMC Connector	microSD , 3.3V	
User Input	Reset Button Boot Button Power Button	
Video Out	16b HDMI, 1280x1024 (MAX) 1024x768, 1280x720, 1440x900 w/EDID Support	
Audio	Via HDMI Interface, Stereo	
Expansion Connectors	Power 5V, 3.3V , VDD_ADC(1.8V) 3.3V I/O on all signals McASP0, SPI1, I2C, GPIO(65), LCD, GPMC, MMC1, MMC2, 7 AIN(1.8V MAX), 4 Timers, 3 Serial Ports, CAN0, EHRPWM(0,2), XDMA Interrupt, Power button, Expansion Board ID (Up to 4 can be stacked)	
Weight	1.4 oz (39.68 grams)	
Power	Refer to Section 6.1.7	

### 4.3 Board Component Locations

This section describes the key components on the board. It provides information on their location and function. Familiarize yourself with the various components on the board.

#### 4.3.1 Connectors, LEDs, and Switches

**Figure 17** below shows the locations of the connectors, LEDs, and switches on the PCB layout of the board.

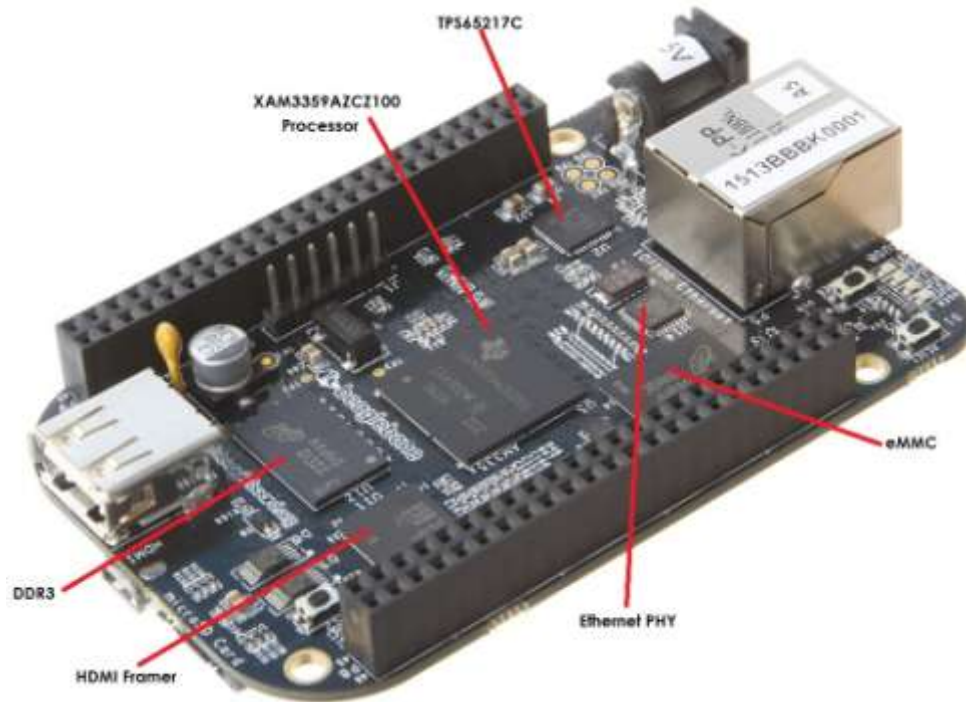


**Figure 17. Connectors, LEDs and Switches**

- **DC Power** is the main DC input that accepts 5V power.
- **Power Button** alerts the processor to initiate the power down sequence.
- **10/100 Ethernet** is the connection to the LAN.
- **Serial Debug** is the serial debug port.
- **USB Client** is a miniUSB connection to a PC that can also power the board.
- **BOOT switch** can be used to force a boot from the SD card.
- There are four blue **LEDS** that can be used by the user.
- **Reset Button** allows the user to reset the processor.
- **uSD** slot is where a uSD card can be installed.
- **microHDMI** connector is where the display is connected to.
- **USB Host** can be connected different USB interfaces such as Wi-Fi, BT, Keyboard, etc.

### 4.3.2 Key Components

**Figure 18** below shows the locations of the key components on the PCB layout of the board.



**Figure 18. Key Components**

- **Sitara AM3359AZCZ100** is the processor for the board.
- **Micron 512MB DDR3L** is the Dual Data Rate RAM memory.
- **TPS65217C PMIC** provides the power rails to the various components on the board.
- **SMSC Ethernet PHY** is the physical interface to the network.
- **Micron eMMC** is an onboard MMC chip that holds up to 2GB of data.
- **HDMI Framer** provides control for an HDMI or DVI-D display with an adapter.

## 5.0 BeagleBone Black High Level Specification

This section provides the high level specification of the BeagleBone Black.

### 5.1 Block Diagram

Figure 19 below is the high level block diagram of the BeagleBone Black.

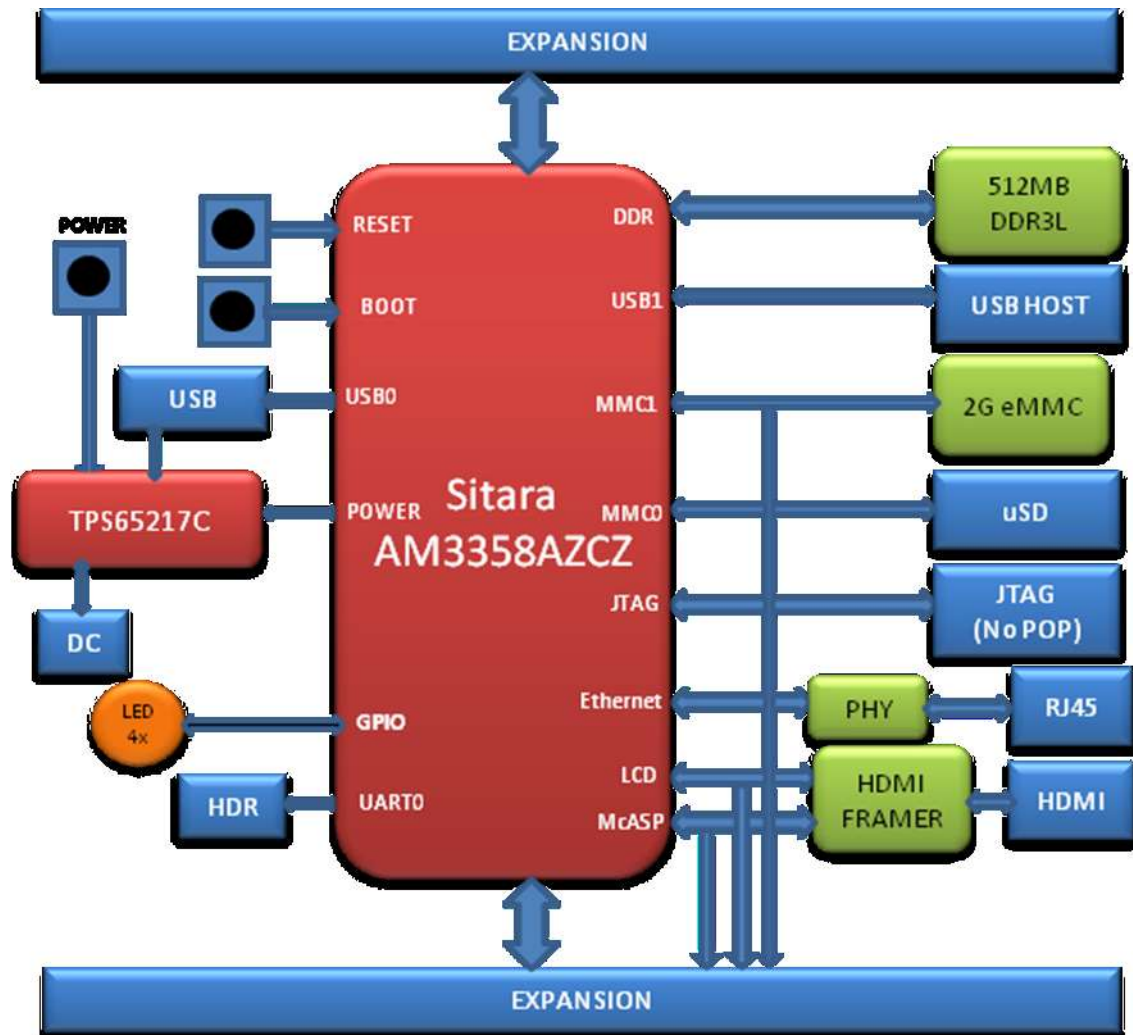


Figure 19. BeagleBone Black Key Components

## 5.2 Processor

For the initial release, the board uses the Sitara XAM3359AZCZ processor in the 15x15 package. This is basically the same processor as used on the original BeagleBone. It does use the updated 2.0 revision with several fixes on this new processor as opposed to the original BeagleBone. A couple of important features from this new processor include:

- 1GHZ Operation
- RTC fix

Eventually the board will move to the Sitara AM3358BZCZ100 device once released and readily available from TI. At this time we do not have a date when this will happen. We do not expect any benefit from moving to this device and there should be no impact seen as a result of making this move,

## 5.3 Memory

Described in the following sections are the three memory devices found on the board.

### 5.3.1 512MB DDR3L

A single 256Mb x16 DDR3L 4Gb (512MB) memory device is used. The memory used is the MT41K512M16HA-125 from Micron. It will operate at a clock frequency of 303MHz yielding an effective rate of 606MHZ on the DDR3L bus allowing for 1.32GB/S of DDR3L memory bandwidth.

### 5.3.2 32KB EEPROM

A single 32KB EEPROM is provided on I2C0 that holds the board information. This information includes board name, serial number, and revision information. This will be the same as found on the original BeagleBone. It has a test point to allow the device to be programmed and otherwise to provide write protection when not grounded.

### 5.3.3 2GB Embedded MMC

A single 2GB embedded MMC (eMMC) device is on the board. The device connects to the MMC1 port of the processor, allowing for 8bit wide access. Default boot mode for the board will be MMC1 with an option to change it to MMC0 for SD card booting. MMC0 cannot be used in 8Bit mode because the lower data pins are located on the pins used by the Ethernet port. This does not interfere with SD card operation but it does make it unsuitable for use as an eMMC port if the 8 bit feature is needed.

### 5.3.4 MicroSD Connector

The board is equipped with a single microSD connector to act as the secondary boot source for the board and, if selected as such, can be the primary boot source. The

connector will support larger capacity SD cards. The SD card is not provided with the board. Booting from MMC0 will be used to flash the eMMC in the production environment or can be used by the user to update the SW as needed.

### 5.3.5 Boot Modes

As mentioned earlier, there are four boot modes:

- **eMMC Boot...**This is the default boot mode and will allow for the fastest boot time and will enable the board to boot out of the box using the pre-flashed OS image without having to purchase an SD card or an SD card writer.
- **SD Boot...**This mode will boot from the uSD slot. This mode can be used to override what is on the eMMC device and can be used to program the eMMC when used in the manufacturing process or for field updates.
- **Serial Boot...**This mode will use the serial port to allow downloading of the software direct. A separate USB to serial cable is required to use this port.
- **USB Boot...**This mode supports booting over the USB port.

**Software to support USB and serial boot modes is not provided by beagleboard.org.  
Please contact TI for support of this feature.**

A switch is provided to allow switching between the modes.

- ❖ Holding the boot switch down during boot without a SD card inserted will force the boot source to be the USB port and if nothing is detected on the USB client port, it will go to the serial port for download.
- ❖ Without holding the switch, the board will boot from eMMC. If it is empty, then it will try booting from the uSD slot, followed by the serial port, and then the USB port.
- ❖ If you hold the boot switch down during boot, and you have a uSD card inserted with a bootable image, the board will boot from the uSD card.

## 5.4 Power Management

The **TPS65217C** power management device is used along with a separate LDO to provide power to the system. The **TPS65217C** version provides for the proper voltages required for the DDR3L. This is the same device as used on the original BeagleBone with the exception of the power rail configuration settings which will be changed in the internal EEPROM to the TPS65217 to support the new voltages.

DDR3L requires 1.5V instead of 1.8V on the DDR2 as is the case on the original BeagleBone. The 1.8V regulator setting has been changed to 1.5V for the DDR3L. The LDO3 3.3V rail has been changed to 1.8V to support those rails on the processor. LDO4 is still 3.3V for the 3.3V rails on the processor. An external **LDOTLV70233** provides the 3.3V rail for the rest of the board.

## 5.5 PC USB Interface

The board has a miniUSB connector that connects the USB0 port to the processor. This is the same connector as used on the original BeagleBone.

## 5.6 Serial Debug Port

Serial debug is provided via UART0 on the processor via a single 1x6 pin header. In order to use the interface a USB to TTL adapter will be required. The header is compatible with the one provided by FTDI and can be purchased for about \$12 to \$20 from various sources. Signals supported are TX and RX. None of the handshake signals are supported.

## 5.7 USB1 Host Port

On the board is a single USB Type A female connector with full LS/FS/HS Host support that connects to USB1 on the processor. The port can provide power on/off control and up to 500mA of current at 5V. Under USB power, the board will not be able to supply the full 500mA, but should be sufficient to supply enough current for a lower power USB device supplying power between 50 to 100mA.

You can use a wireless keyboard/mouse configuration or you can add a HUB for standard keyboard and mouse interfacing.

## 5.8 Power Sources

The board can be powered from four different sources:

- A USB port on a PC
- A 5VDC 1A power supply plugged into the DC connector.
- A power supply with a USB connector.
- Expansion connectors

The USB cable is shipped with each board. This port is limited to 500mA by the Power Management IC. It is possible to change the settings in the TPS65217C to increase this current, but only after the initial boot. And, at that point the PC most likely will complain, but you can also use a dual connector USB cable to the PC to get to 1A.

The power supply is not provided with the board but can be easily obtained from numerous sources. A 1A supply is sufficient to power the board, but if there is a cape plugged into the board or you have a power hungry device or hub plugged into the host port, then more current may be needed from the DC supply.

Power routed to the board via the expansion header could be provided from power derived on a cape. The DC supply should be well regulated and 5V +/- .25V.

## 5.9 Reset Button

When pressed and released, causes a reset of the board. The reset button used on the BeagleBone Black is a little larger than the one used on the original BeagleBone. It has also been moved out to the edge of the board so that it is more accessible.

## 5.10 Power Button

A power button is provided near the reset button close to the Ethernet connector. This button takes advantage of the input to the PMIC for power down features. While a lot of capes have a button, it was decided to add this feature to the board to insure everyone had access to some new features. These features include:

- Interrupt is sent to the processor to facilitate an orderly shutdown to save files and to un-mount drives.
- Provides ability to let processor put board into a sleep mode to save power.
- Can alert processor to wake up from sleep mode and restore state before sleep was entered.
- Allows board to enter the sleep mode, preserving the RTC clock

If you hold the button down longer than 8 seconds, the board will power off if you release the button when the power LED turns off. If you continue to hold it, the board will power back up completing a power cycle.

## 5.11 Indicators

There are a total of five blue LEDs on the board.

- One blue power LED indicates that power is applied and the power management IC is up. If this LED flashes when applying power, it means that an excess current flow was detected and the PMIC has shut down.
- Four blue LEDs that can be controlled via the SW by setting GPIO pins.

In addition, there are two LEDs on the RJ45 to provide Ethernet status indication. One is yellow (100M Link up if on) and the other is green (Indicating traffic when flashing).

## 5.12 CTI JTAG Header

A place for an optional 20 pin CTI JTAG header is provided on the board to facilitate the SW development and debugging of the board by using various JTAG emulators. This



header is not supplied standard on the board. To use this, a connector will need to be soldered onto the board.

### 5.13 HDMI Interface

A single HDMI interface is connected to the 16 bit LCD interface on the processor. The 16b interface was used to preserve as many expansion pins as possible to allow for use by the user. The NXP TDA19988BHN is used to convert the LCD interface to HDMI and convert the audio as well. The signals are still connected to the expansion headers to enable the use of LCD expansion boards or access to other functions on the board as needed.

The HDMI device does not support HDCP copy protection. Support is provided via EDID to allow the SW to identify the compatible resolutions. Currently the following resolutions are supported via the software:

- 1280 x 1024
- 1440 x 900
- 1024 x 768
- 1280 x 720

### 5.14 Cape Board Support

The BeagleBone Black has the ability to accept up to four expansion boards or capes that can be stacked onto the expansion headers. The word cape comes from the shape of the board as it is fitted around the Ethernet connector on the main board. This notch acts as a key to insure proper orientation of the cape.

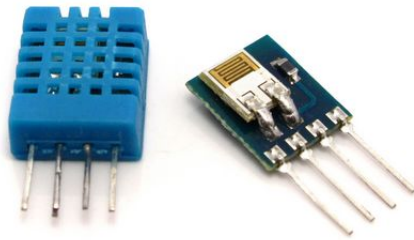
The majority of capes designed for the original BeagleBone will work on the BeagleBone Black. The two main expansion headers will be populated on the board. There are a few exceptions where certain capabilities may not be present or are limited to the BeagleBone Black. These include:

- GPMC bus may NOT be available due to the use of those signals by the eMMC. If the eMMC is used for booting only and the file system is on the SD card, then these signals could be used.
- Another option is to use the SD or serial boot modes and not use the eMMC.
- The power expansion header is not on the BeagleBone Black so those functions are not supported.

For more information on cape support refer to [Section 9.0](#).

# **ANEXO B**

# Digital-output relative humidity & temperature sensor/module – DHT11



Resistive-type humidity and temperature module/sensor

## 1. Feature & Application:

- \* Full range temperature compensated
- \* Relative humidity and temperature measurement
- \* Calibrated digital signal
- \* Outstanding long-term stability
- \* Extra components not needed
- \* Long transmission distance
- \* Low power consumption
- \* 4 pins packaged and fully interchangeable

## 2. Description:

DHT11 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

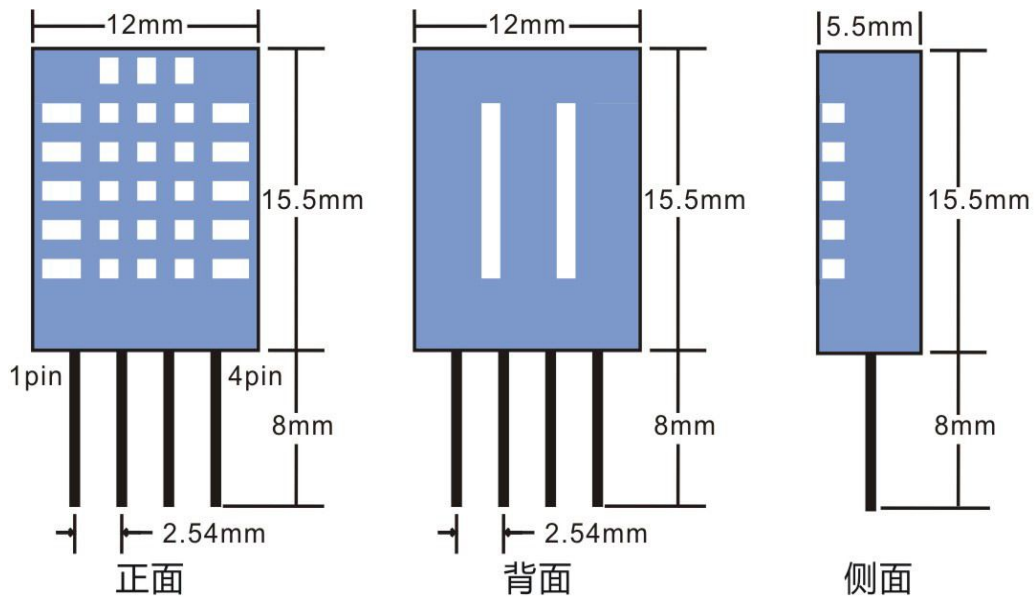
Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in OTP memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT11 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

### 3. Technical Specification:

Model	DHT11	
Power supply	3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer resistor	
Measuring range	humidity 20-90%RH; temperature 0-50 Celsius	
Accuracy	humidity $\pm 4\%$ RH (Max $\pm 5\%$ RH); temperature $\pm 2.0$ Celsius	
Resolution or sensitivity	humidity $1\%$ RH;	temperature $0.1$ Celsius
Repeatability	humidity $\pm 1\%$ RH;	temperature $\pm 1$ Celsius
Humidity hysteresis	$\pm 1\%$ RH	
Long-term Stability	$\pm 0.5\%$ RH/year	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	size 12*15.5*5.5mm	

### 4. Dimensions: (unit----mm)

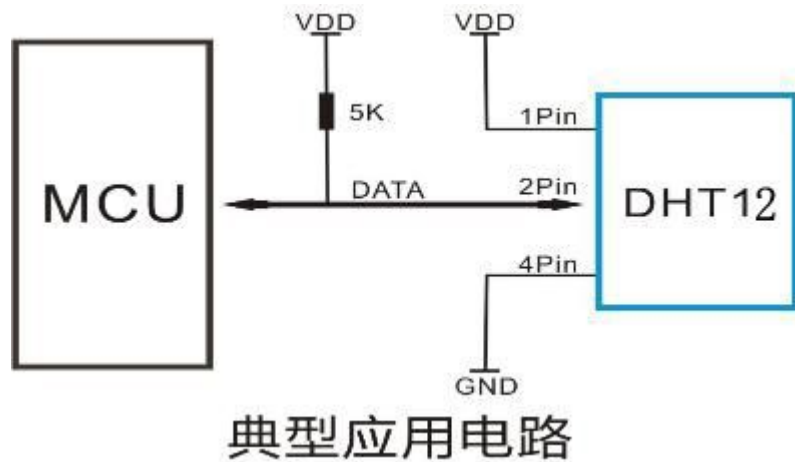


**Front view**

**Back view**

**Side view**

## 5. Typical application



**3Pin-NULL, MCU=Microcomputer or single-chip computer**

## 6. Operating specifications:

### (1) Power and Pins

Power's voltage should be 3-5.5V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for power filtering.

### (2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT11.

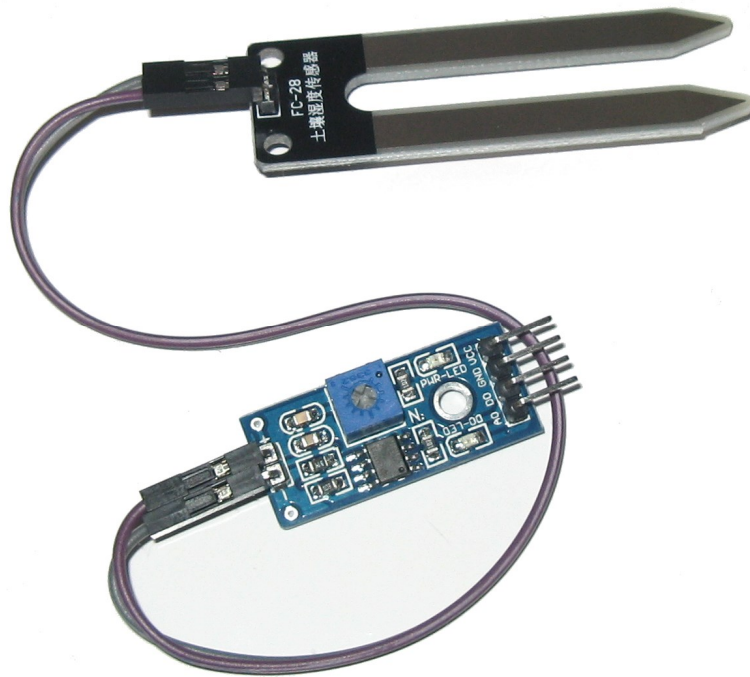
## 7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3	5	5.5	V
Current supply	Measuring	0.5		2.5	mA
	Stand-by	100	Null	150	uA
	Average	0.2	Null	1	mA

# **ANEXO C**

# FC-28

Sensor de humedad del suelo



**Voltaje de 3,3 a 5V cc**

**Salidas analógica y comparadora**

**Ajuste de sensibilidad**

**Dimensiones del sensor 6x-20mm contactos 45mm**

**Dimensión del comparador 30x14mm**

**Los cuatro conectores son**

**VCC positivo de 3,3 a 5V CC**

**GND masa**

**OD salida de señal digital (a una determinada humedad en el sensor se dispara) se puede ajustar con el potenciómetro el nivel a controlar**

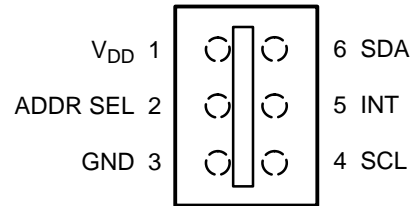
**OA salida de señal analógica a cambia la tensión de salida en función de la cantidad de humedad que registra el sensor**

# **ANEXO D**



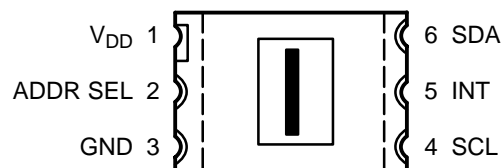
- Approximates Human Eye Response to Control Display Backlight and Keyboard Illumination
- Precisely Measures Illuminance in Diverse Lighting Conditions Providing Exposure Control in Cameras
- Programmable Interrupt Function with User-Defined Upper and Lower Threshold Settings
- 16-Bit Digital Output with SMBus (TSL2560) or I<sup>2</sup>C (TSL2561) Fast-Mode at 400 KHz
- Programmable Analog Gain and Integration Time Supporting 1,000,000-to-1 Dynamic Range
- Available in Ultra-Small 1.25 mm × 1.75 mm ChipScale Package
- Automatically Rejects 50/60-Hz Lighting Ripple
- Low Active Power (0.75 mW Typical) with Power Down Mode
- RoHS Compliant

**PACKAGE CS  
6-LEAD CHIPSCALE  
(TOP VIEW)**



Package Drawings are Not to Scale

**PACKAGE T  
6-LEAD TMB  
(TOP VIEW)**



## Description

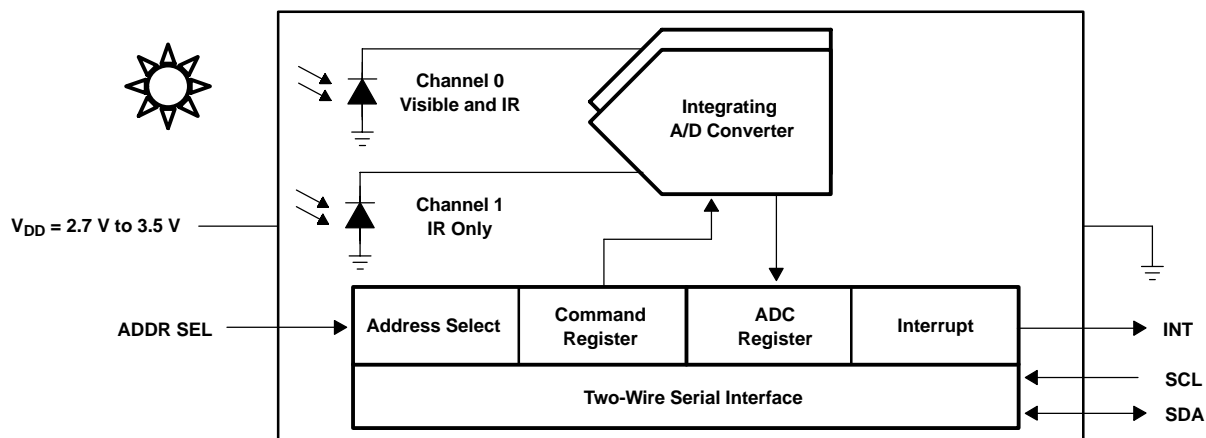
The TSL2560 and TSL2561 are light-to-digital converters that transform light intensity to a digital signal output capable of direct I<sup>2</sup>C (TSL2561) or SMBus (TSL2560) interface. Each device combines one broadband photodiode (visible plus infrared) and one infrared-responding photodiode on a single CMOS integrated circuit capable of providing a near-photopic response over an effective 20-bit dynamic range (16-bit resolution). Two integrating ADCs convert the photodiode currents to a digital output that represents the irradiance measured on each channel. This digital output can be input to a microprocessor where illuminance (ambient light level) in lux is derived using an empirical formula to approximate the human eye response. The TSL2560 device permits an SMB-Alert style interrupt, and the TSL2561 device supports a traditional level style interrupt that remains asserted until the firmware clears it.

While useful for general purpose light sensing applications, the TSL2560/61 devices are designed particularly for display panels (LCD, OLED, etc.) with the purpose of extending battery life and providing optimum viewing in diverse lighting conditions. Display panel backlighting, which can account for up to 30 to 40 percent of total platform power, can be automatically managed. Both devices are also ideal for controlling keyboard illumination based upon ambient lighting conditions. Illuminance information can further be used to manage exposure control in digital cameras. The TSL2560/61 devices are ideal in notebook/tablet PCs, LCD monitors, flat-panel televisions, cell phones, and digital cameras. In addition, other applications include street light control, security lighting, sunlight harvesting, machine vision, and automotive instrumentation clusters.

# TSL2560, TSL2561 LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER

TAOS059D – DECEMBER 2005

## Functional Block Diagram



## Detailed Description

The TSL2560 and TSL2561 are second-generation ambient light sensor devices. Each contains two integrating analog-to-digital converters (ADC) that integrate currents from two photodiodes. Integration of both channels occurs simultaneously. Upon completion of the conversion cycle, the conversion result is transferred to the Channel 0 and Channel 1 data registers, respectively. The transfers are double-buffered to ensure that the integrity of the data is maintained. After the transfer, the device automatically begins the next integration cycle.

Communication to the device is accomplished through a standard, two-wire SMBus or I<sup>2</sup>C serial bus. Consequently, the TSL256x device can be easily connected to a microcontroller or embedded controller. No external circuitry is required for signal conditioning, thereby saving PCB real estate as well. Since the output of the TSL256x device is digital, the output is effectively immune to noise when compared to an analog signal.

The TSL256x devices also support an interrupt feature that simplifies and improves system efficiency by eliminating the need to poll a sensor for a light intensity value. The primary purpose of the interrupt function is to detect a meaningful change in light intensity. The concept of a *meaningful change* can be defined by the user both in terms of light intensity and time, or persistence, of that change in intensity. The TSL256x devices have the ability to define a threshold above and below the current light level. An interrupt is generated when the value of a conversion exceeds either of these limits.

**Terminal Functions**

TERMINAL			TYPE	DESCRIPTION
NAME	CS PKG NO.	T PKG NO.		
ADDR SEL	2	2	I	SMBus device select — three-state
GND	3	3		Power supply ground. All voltages are referenced to GND.
INT	5	5	O	Level or SMB Alert interrupt.
SCL	4	4	I	SMBus serial clock input terminal — clock signal for SMBus serial data.
SDA	6	6	I/O	SMBus serial data I/O terminal — serial data I/O for SMBus.
V <sub>DD</sub>	1	1		Supply voltage.

**Available Options**

DEVICE	INTERFACE	PACKAGE – LEADS	PACKAGE DESIGNATOR	ORDERING NUMBER
TSL2560	SMBus	Chipscale	CS	TSL2560CS
TSL2560	SMBus	TMB-6	T	TSL2560T
TSL2561	I <sup>2</sup> C	Chipscale	CS	TSL2561CS
TSL2561	I <sup>2</sup> C	TMB-6	T	TSL2561T

**Absolute Maximum Ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†**

Supply voltage, V <sub>DD</sub> (see Note 1)	3.8 V
Digital output voltage range, V <sub>O</sub>	–0.5 V to 3.8 V
Digital output current, I <sub>O</sub>	–1 mA to 20 mA
Storage temperature range, T <sub>stg</sub>	–40°C to 85°C
ESD tolerance, human body model	2000 V

† Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltages are with respect to GND.

**Recommended Operating Conditions**

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V <sub>DD</sub>	2.7	3	3.6	V
Operating free-air temperature, T <sub>A</sub>	–30		70	°C
SCL, SDA input low voltage, V <sub>IL</sub>	–0.5		0.8	V
SCL, SDA input high voltage, V <sub>IH</sub>	2.1		3.6	V

**Electrical Characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I <sub>DD</sub>	Supply current	Active		0.24	0.6	mA
		Power down		3.2	15	µA
V <sub>OL</sub>	INT, SDA output low voltage	3 mA sink current	0		0.4	V
		6 mA sink current	0		0.6	V
I <sub>LEAK</sub>	Leakage current		–5		5	µA

# TSL2560, TSL2561 LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER

TAOS059D – DECEMBER 2005

Operating Characteristics, High Gain (16×),  $V_{DD} = 3\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , (unless otherwise noted) (see Notes 2, 3, 4, 5)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	CHANNEL	TSL2560T, TSL2561T			TSL2560CS, TSL2561CS			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$f_{osc}$	Oscillator frequency		690	735	780	690	735	780	kHz
Dark ADC count value	$E_e = 0$ , $T_{int} = 402\text{ ms}$	Ch0	0		4	0		4	counts
		Ch1	0		4	0		4	
Full scale ADC count value (Note 6)	$T_{int} > 178\text{ ms}$	Ch0			65535			65535	counts
		Ch1			65535			65535	
	$T_{int} = 101\text{ ms}$	Ch0			37177			37177	
		Ch1			37177			37177	
	$T_{int} = 13.7\text{ ms}$	Ch0			5047			5047	
		Ch1			5047			5047	
ADC count value	$\lambda_p = 640\text{ nm}$ , $T_{int} = 101\text{ ms}$ $E_e = 36.3\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Ch0	750	1000	1250				counts
		Ch1		200					
	$\lambda_p = 940\text{ nm}$ , $T_{int} = 101\text{ ms}$ $E_e = 119\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Ch0	700	1000	1300				counts
		Ch1		820					
	$\lambda_p = 640\text{ nm}$ , $T_{int} = 101\text{ ms}$ $E_e = 41\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Ch0				750	1000	1250	counts
		Ch1					190		
	$\lambda_p = 940\text{ nm}$ , $T_{int} = 101\text{ ms}$ $E_e = 135\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Ch0				700	1000	1300	counts
		Ch1					850		
ADC count value ratio: Ch1/Ch0	$\lambda_p = 640\text{ nm}$ , $T_{int} = 101\text{ ms}$		0.15	0.20	0.25	0.14	0.19	0.24	
		$\lambda_p = 940\text{ nm}$ , $T_{int} = 101\text{ ms}$		0.69	0.82	0.95	0.70	0.85	
$R_e$ Irradiance responsivity	$\lambda_p = 640\text{ nm}$ , $T_{int} = 101\text{ ms}$	Ch0		27.5			24.4		counts/ ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
		Ch1		5.5			4.6		
	$\lambda_p = 940\text{ nm}$ , $T_{int} = 101\text{ ms}$	Ch0		8.4			7.4		
		Ch1		6.9			6.3		
$R_v$ Illuminance responsivity	Fluorescent light source: $T_{int} = 402\text{ ms}$	Ch0		36			35	counts/ lux	
		Ch1		4			3.8		
	Incandescent light source: $T_{int} = 402\text{ ms}$	Ch0		144			129		
		Ch1		72			67		
ADC count value ratio: Ch1/Ch0	Fluorescent light source: $T_{int} = 402\text{ ms}$			0.11			0.11		
	Incandescent light source: $T_{int} = 402\text{ ms}$			0.5			0.52		
$R_v$ Illuminance responsivity, low gain mode (Note 7)	Fluorescent light source: $T_{int} = 402\text{ ms}$	Ch0		2.3			2.2	counts/ lux	
		Ch1		0.25			0.24		
	Incandescent light source: $T_{int} = 402\text{ ms}$	Ch0		9			8.1		
		Ch1		4.5			4.2		
(Sensor Lux) / (actual Lux), high gain mode (Note 8)	Fluorescent light source: $T_{int} = 402\text{ ms}$		0.65	1	1.35	0.65	1	1.35	
	Incandescent light source: $T_{int} = 402\text{ ms}$		0.60	1	1.40	0.60	1	1.40	

- NOTES:
- Optical measurements are made using small-angle incident radiation from light-emitting diode optical sources. Visible 640 nm LEDs and infrared 940 nm LEDs are used for final product testing for compatibility with high-volume production.
  - The 640 nm irradiance  $E_e$  is supplied by an AlInGaP light-emitting diode with the following characteristics: peak wavelength  $\lambda_p = 640$  nm and spectral halfwidth  $\Delta\lambda_{1/2} = 17$  nm.
  - The 940 nm irradiance  $E_e$  is supplied by a GaAs light-emitting diode with the following characteristics: peak wavelength  $\lambda_p = 940$  nm and spectral halfwidth  $\Delta\lambda_{1/2} = 40$  nm.
  - Integration time  $T_{int}$ , is dependent on internal oscillator frequency ( $f_{osc}$ ) and on the integration field value in the timing register as described in the *Register Set* section. For nominal  $f_{osc} = 735$  kHz, nominal  $T_{int} = (\text{number of clock cycles})/f_{osc}$ .  
 Field value 00:  $T_{int} = (11 \times 918)/f_{osc} = 13.7$  ms  
 Field value 01:  $T_{int} = (81 \times 918)/f_{osc} = 101$  ms  
 Field value 10:  $T_{int} = (322 \times 918)/f_{osc} = 402$  ms  
 Scaling between integration times vary proportionally as follows:  $11/322 = 0.034$  (field value 00),  $81/322 = 0.252$  (field value 01), and  $322/322 = 1$  (field value 10).
  - Full scale ADC count value is limited by the fact that there is a maximum of one count per two oscillator frequency periods and also by a 2-count offset.  
 Full scale ADC count value =  $((\text{number of clock cycles})/2 - 2)$   
 Field value 00: Full scale ADC count value =  $((11 \times 918)/2 - 2) = 5047$   
 Field value 01: Full scale ADC count value =  $((81 \times 918)/2 - 2) = 37177$   
 Field value 10: Full scale ADC count value = 65535, which is limited by 16 bit register. This full scale ADC count value is reached for 131074 clock cycles, which occurs for  $T_{int} = 178$  ms for nominal  $f_{osc} = 735$  kHz.
  - Low gain mode has 16 $\times$  lower gain than high gain mode:  $(1/16 = 0.0625)$ .
  - The sensor Lux is calculated using the empirical formula shown on p. 22 of this data sheet based on measured Ch0 and Ch1 ADC count values for the light source specified. Actual Lux is obtained with a commercial luxmeter. The range of the (sensor Lux) / (actual Lux) ratio is estimated based on the variation of the 640 nm and 940 nm optical parameters. Devices are not 100% tested with fluorescent or incandescent light sources.

# TSL2560, TSL2561 LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER

TAOS059D – DECEMBER 2005

## AC Electrical Characteristics, $V_{DD} = 3\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{(CONV)}$	Conversion time		12	100	400	ms
$f_{(SCL)}$	Clock frequency				400	kHz
$t_{(BUF)}$	Bus free time between start and stop condition		4.7			$\mu\text{s}$
$t_{(HDSTA)}$	Hold time after (repeated) start condition. After this period, the first clock is generated.		4			$\mu\text{s}$
$t_{(SUSTA)}$	Repeated start condition setup time		4.7			$\mu\text{s}$
$t_{(SUSTO)}$	Stop condition setup time		4			$\mu\text{s}$
$t_{(HDDAT)}$	Data hold time		300			ns
$t_{(SUDAT)}$	Data setup time		250			ns
$t_{(LOW)}$	SCL clock low period		4.7			$\mu\text{s}$
$t_{(HIGH)}$	SCL clock high period		4			$\mu\text{s}$
$t_{(TIMEOUT)}$	Detect clock/data low timeout		25		35	ms
$t_F$	Clock/data fall time				300	ns
$t_R$	Clock/data rise time				1000	ns
$C_i$	Input pin capacitance				10	pF

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

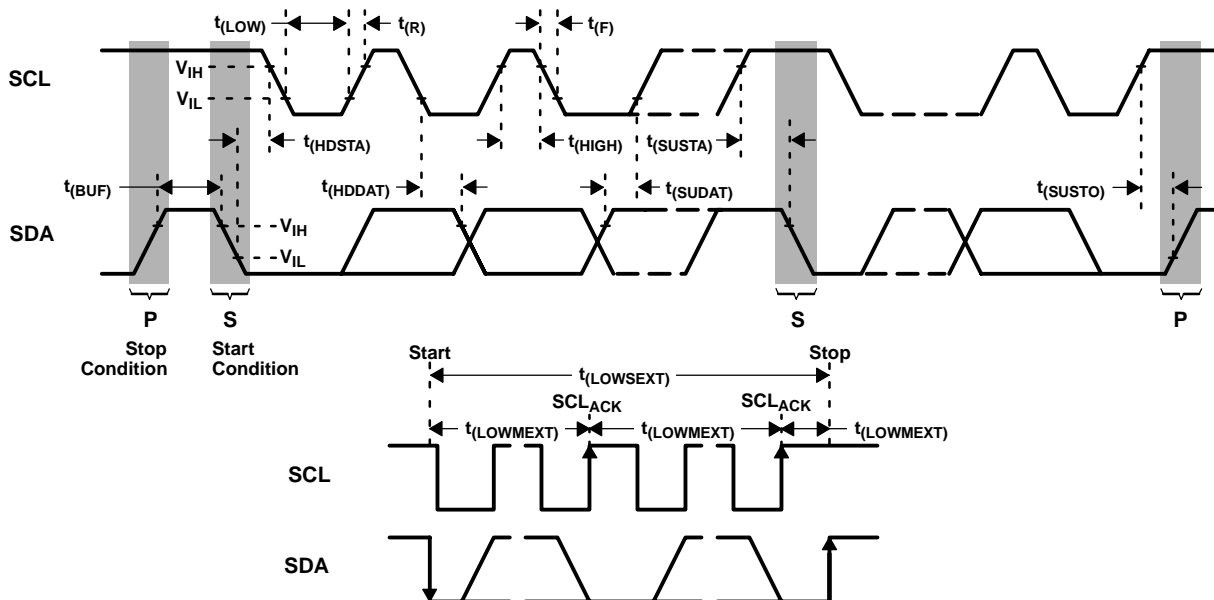


Figure 1. Timing Diagrams

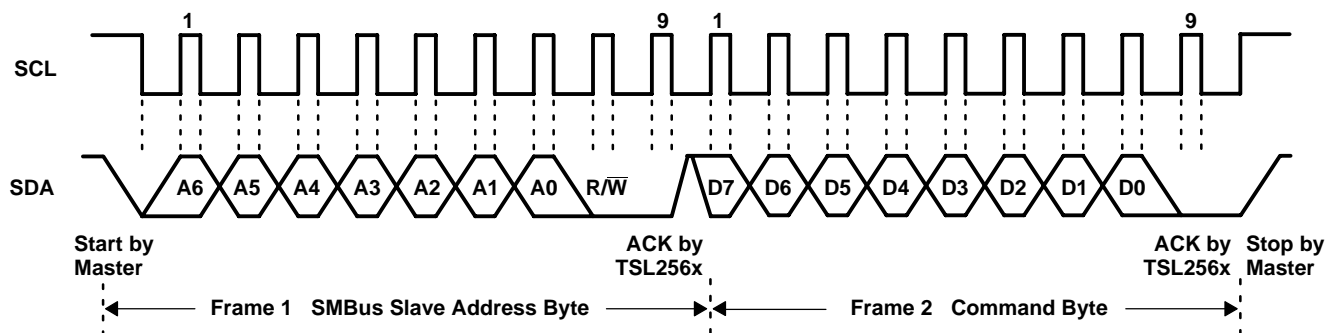


Figure 2. Example Timing Diagram for SMBus Send Byte Format

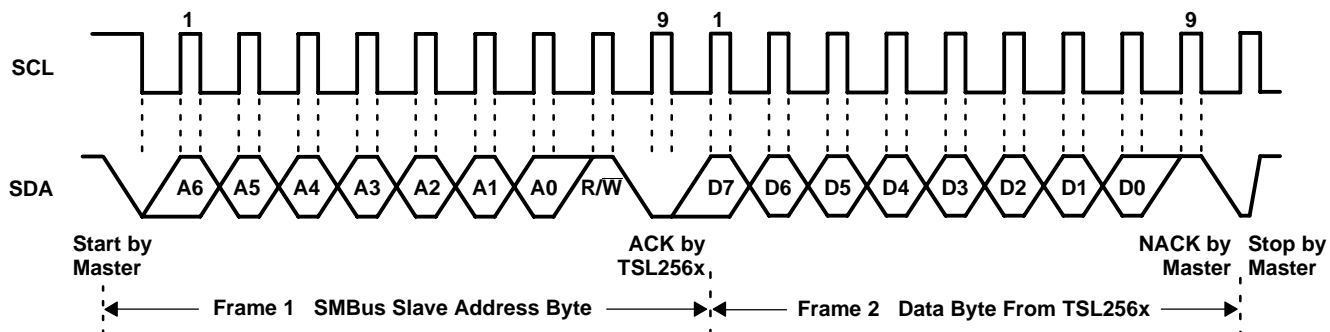
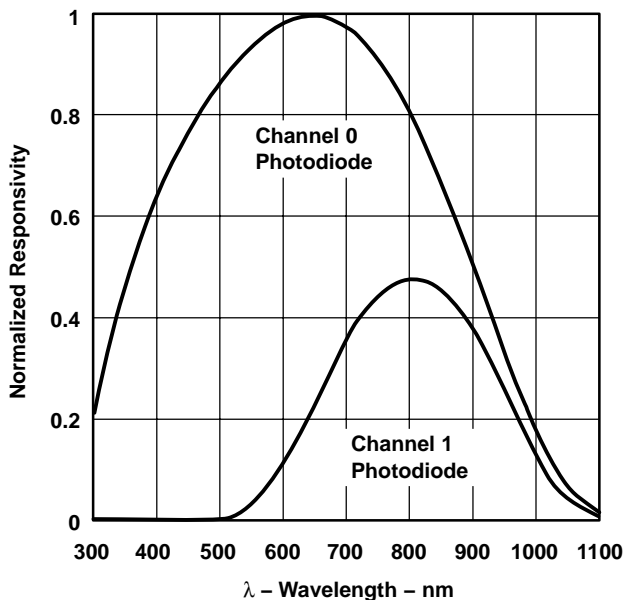


Figure 3. Example Timing Diagram for SMBus Receive Byte Format

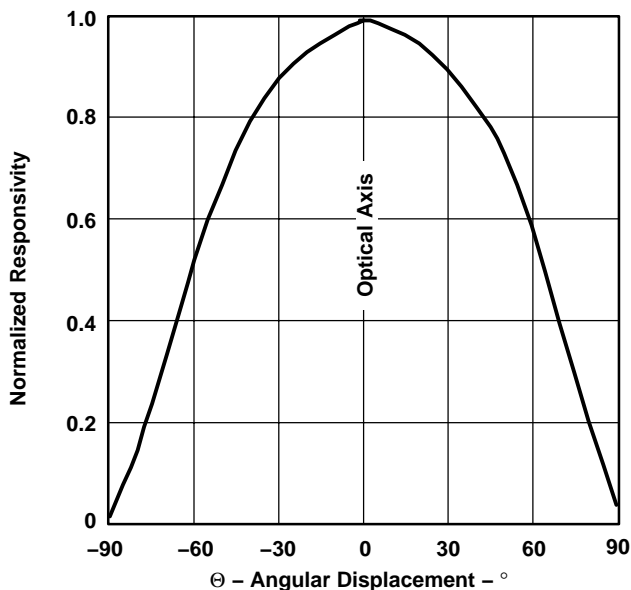
**TYPICAL CHARACTERISTICS**

**SPECTRAL RESPONSIVITY**



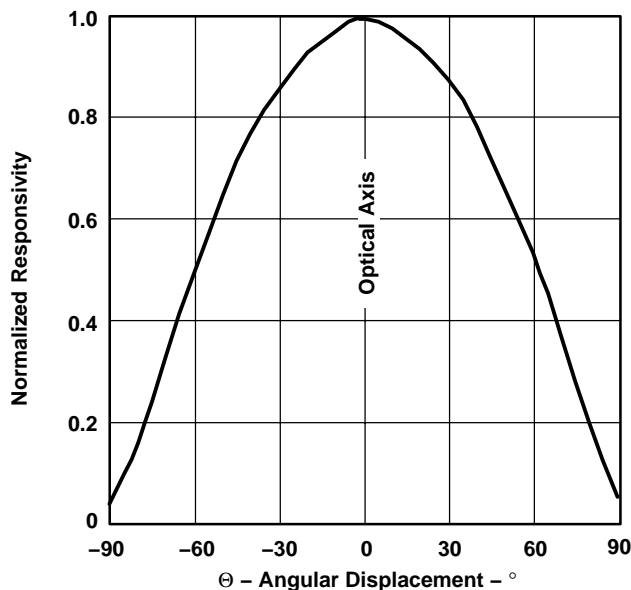
**Figure 4**

**NORMALIZED RESPONSIVITY  
vs.  
ANGULAR DISPLACEMENT — CS PACKAGE**



**Figure 5**

**NORMALIZED RESPONSIVITY  
vs.  
ANGULAR DISPLACEMENT — TMB PACKAGE**



**Figure 6**



# **ANEXO E**

# DS18B20

## Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

### DESCRIPTION

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  and is accurate to  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  over the range of  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ . In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line (“parasite power”), eliminating the need for an external power supply.

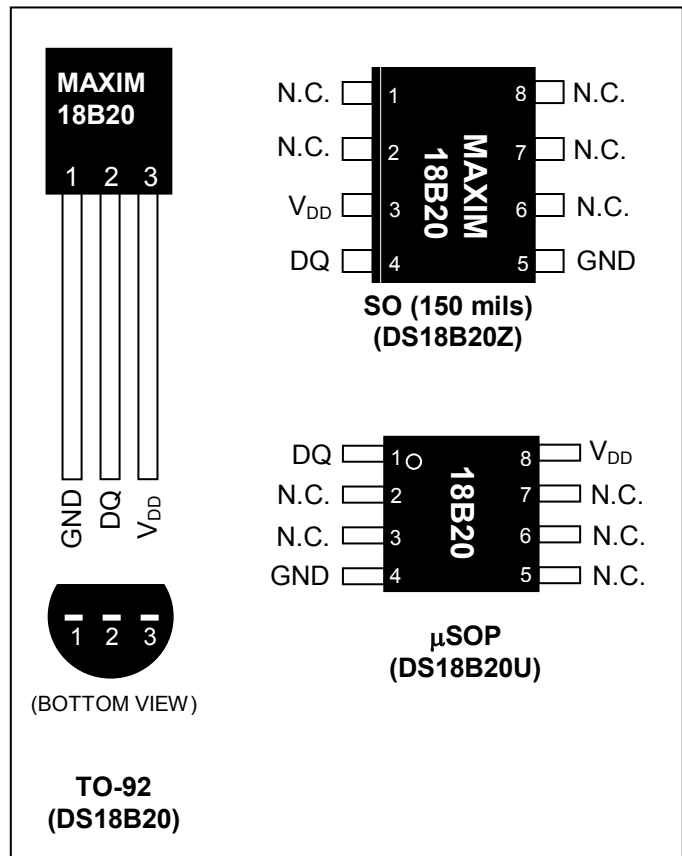
Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

### FEATURES

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Each Device has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in an On-Board ROM
- Multidrop Capability Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications
- Requires No External Components
- Can Be Powered from Data Line; Power Supply Range is 3.0V to 5.5V
- Measures Temperatures from  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  to  $+257^{\circ}\text{F}$ )
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  Accuracy from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$
- Thermometer Resolution is User Selectable from 9 to 12 Bits
- Converts Temperature to 12-Bit Digital Word in 750ms (Max)

- User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings
- Alarm Search Command Identifies and Addresses Devices Whose Temperature is Outside Programmed Limits (Temperature Alarm Condition)
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin  $\mu\text{SOP}$ , and 3-Pin TO-92 Packages
- Software Compatible with the DS1822
- Applications Include Thermostatic Controls, Industrial Systems, Consumer Products, Thermometers, or Any Thermally Sensitive System

### PIN CONFIGURATIONS



1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

# **ANEXO F**

# XBee<sup>®</sup> /XBee-PRO<sup>®</sup> RF Modules

---

XBee<sup>®</sup>/XBee-PRO<sup>®</sup> RF Modules  
RF Module Operation  
RF Module Configuration  
Appendices



## Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol

For RF Module Part Numbers: XB24-A...-001, XBP24-A...-001

IEEE<sup>®</sup> 802.15.4 RF Modules by Digi International



Digi International Inc.  
11001 Bren Road East  
Minnetonka, MN 55343  
877 912-3444 or 952 912-3444  
<http://www.digi.com>

90000982\_B  
2009.09.23

**© 2009 Digi International, Inc. All rights reserved**

The contents of this manual may not be transmitted or reproduced in any form or by any means without the written permission of Digi, Inc.

XBee® and XBee-PRO® are registered trademarks of Digi, Inc.

Technical Support:	Phone:	(866) 765-9885 toll-free U.S.A. & Canada (801) 765-9885 Worldwide 8:00 am - 5:00 pm [U.S. Mountain Time]
	Live Chat:	<a href="http://www.digi.com">www.digi.com</a>
	Online Support:	<a href="http://www.digi.com/support/eservice/login.jsp">http://www.digi.com/support/eservice/login.jsp</a>
	Email:	<a href="mailto:rf-experts@digi.com">rf-experts@digi.com</a>

# Contents

<b>1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules</b>	<b>4</b>		
<hr/>			
<b>Key Features</b>	<b>4</b>		
Worldwide Acceptance	4		
<b>Specifications</b>	<b>5</b>		
<b>Mechanical Drawings</b>	<b>5</b>		
<b>Mounting Considerations</b>	<b>6</b>		
<b>Pin Signals</b>	<b>7</b>		
<b>Electrical Characteristics</b>	<b>8</b>		
<b>2. RF Module Operation</b>	<b>10</b>		
<hr/>			
<b>Serial Communications</b>	<b>10</b>		
UART Data Flow	10		
Transparent Operation	11		
API Operation	11		
Flow Control	12		
<b>ADC and Digital I/O Line Support</b>	<b>13</b>		
I/O Data Format	13		
API Support	14		
Sleep Support	14		
DIO Pin Change Detect	14		
Sample Rate (Interval)	14		
I/O Line Passing	15		
Configuration Example	15		
<b>XBee®/XBee-PRO® Networks</b>	<b>16</b>		
Peer-to-Peer	16		
NonBeacon (w/ Coordinator)	16		
Association	17		
<b>XBee®/XBee-PRO® Addressing</b>	<b>20</b>		
Unicast Mode	20		
Broadcast Mode	20		
<b>Modes of Operation</b>	<b>21</b>		
Idle Mode	21		
Transmit/Receive Modes	21		
Sleep Mode	23		
Command Mode	25		
<b>3. RF Module Configuration</b>	<b>26</b>		
<hr/>			
<b>Programming the RF Module</b>	<b>26</b>		
Programming Examples	26		
<b>Remote Configuration Commands</b>	<b>27</b>		
Sending a Remote Command	27		
Applying Changes on Remote	27		
Remote Command Responses	27		
<b>Command Reference Tables</b>	<b>27</b>		
<b>Command Descriptions</b>	<b>36</b>		
<b>API Operation</b>	<b>57</b>		
		API Frame Specifications	57
		API Types	58
		<b>Appendix A: Agency Certifications</b>	<b>64</b>
		<hr/>	
		<b>United States (FCC)</b>	<b>64</b>
		OEM Labeling Requirements	64
		FCC Notices	64
		FCC-Approved Antennas (2.4 GHz)	65
		Approved Antennas	67
		<b>Canada (IC)</b>	<b>68</b>
		Labeling Requirements	68
		<b>Japan</b>	<b>68</b>
		Labeling Requirements	68
		<b>Appendix B: Additional Information</b>	<b>69</b>
		<hr/>	
		<b>1-Year Warranty</b>	<b>69</b>

# 1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



## Key Features

### Long Range Data Integrity

#### XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (90 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

#### XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 63mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

### Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements  
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)  
Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available  
Source/Destination Addressing  
Unicast & Broadcast Communications  
Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

### Low Power

#### XBee

- TX Peak Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10  $\mu$ A

#### XBee-PRO

- TX Peak Current: 250mA (150mA for international variant)
- TX Peak Current (RPSMA module only): 340mA (180mA for international variant)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10  $\mu$ A

### ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O  
I/O Line Passing

### Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of-box RF communications  
Free X-CTU Software (Testing and configuration software)  
AT and API Command Modes for configuring module parameters  
Extensive command set  
Small form factor

## Worldwide Acceptance

**FCC Approval** (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules inherit Digi Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) **2.4 GHz frequency band**

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

XBee®/XBee-PRO® RF Modules are optimized for use in the United States, Canada, Australia, Japan, and Europe. Contact Digi for complete list of government agency approvals.



## Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules

Specification	XBee	XBee-PRO
<b>Performance</b>		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) International variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
<b>Power Requirements</b>		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 µA	< 10 µA
<b>General</b>		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector
<b>Networking &amp; Security</b>		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
<b>Agency Approvals</b>		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	R201WW07215214	R201WW08215111 (Max. 10 dBm transmit power output)*
Australia	C-Tick	C-Tick

\* See Appendix A for region-specific certification requirements.

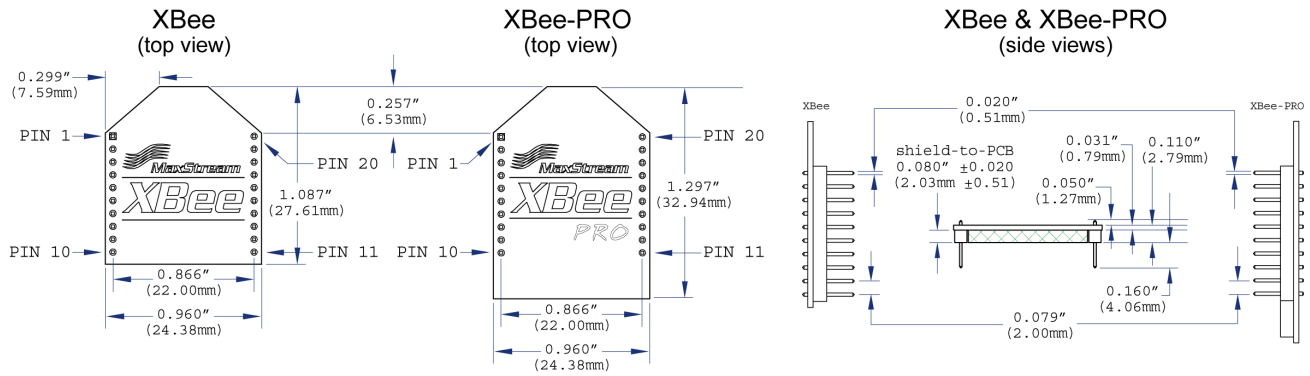
Antenna Options: The ranges specified are typical when using the integrated Whip (1.5 dBi) and Dipole (2.1 dBi) antennas. The Chip antenna option provides advantages in its form factor; however, it typically yields shorter range than the Whip and Dipole antenna options when transmitting outdoors. For more information, refer to the "XBee Antennas" Knowledgebase Article located on Digi's Support Web site

## Mechanical Drawings

Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules (antenna options not shown)



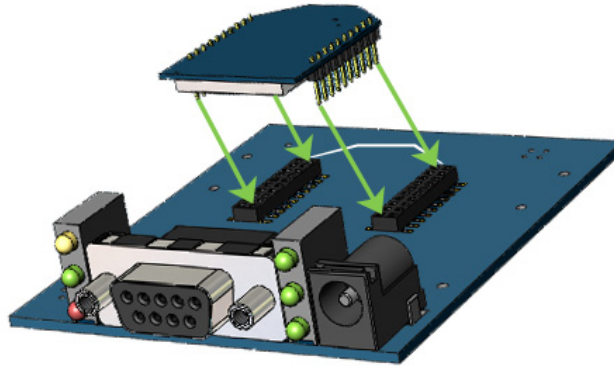
The XBee and XBee-PRO RF Modules are pin-for-pin compatible.



## Mounting Considerations

The XBee®/XBee-PRO® RF Module was designed to mount into a receptacle (socket) and therefore does not require any soldering when mounting it to a board. The XBee Development Kits contain RS-232 and USB interface boards which use two 20-pin receptacles to receive modules.

Figure 1-02. XBee Module Mounting to an RS-232 Interface Board.



The receptacles used on Digi development boards are manufactured by Century Interconnect. Several other manufacturers provide comparable mounting solutions; however, Digi currently uses the following receptacles:

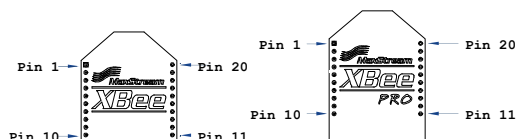
- Through-hole single-row receptacles - Samtec P/N: MMS-110-01-L-SV (or equivalent)
- Surface-mount double-row receptacles - Century Interconnect P/N: CPRMSL20-D-0-1 (or equivalent)
- Surface-mount single-row receptacles - Samtec P/N: SMM-110-02-SM-S

Digi also recommends printing an outline of the module on the board to indicate the orientation the module should be mounted.

## Pin Signals

**Figure 1-03. XBee®/XBee-PRO® RF Module Pin Numbers**

(top sides shown - shields on bottom)



**Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules**

(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / <u>CONFIG</u>	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	<u>RESET</u>	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	<u>DTR</u> / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	<u>CTS</u> / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / <u>SLEEP</u>	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	<u>RTS</u> / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

\* Function is not supported at the time of this release

### Design Notes:

- Minimum connections: VCC, GND, DOUT & DIN
- Minimum connections for updating firmware: VCC, GND, DIN, DOUT, RTS & DTR
- Signal Direction is specified with respect to the module
- Module includes a 50k  $\Omega$  pull-up resistor attached to RESET
- Several of the input pull-ups can be configured using the PR command
- Unused pins should be left disconnected

## Electrical Characteristics

Table 1-03. DC Characteristics (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.35 * VCC	V
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-	-	V
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage	I <sub>OL</sub> = 2 mA, VCC >= 2.7 V	-	-	0.5	V
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage	I <sub>OH</sub> = -2 mA, VCC >= 2.7 V	VCC - 0.5	-	-	V
I <sub>IIN</sub>	Input Leakage Current	V <sub>IN</sub> = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025	1	μA
I <sub>IOZ</sub>	High Impedance Leakage Current	V <sub>IN</sub> = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025	1	μA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee) 215, 140 (PRO, Int)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee) 55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	μA

Table 1-04. ADC Characteristics (Operating)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V <sub>REFH</sub>	VREF - Analog-to-Digital converter reference range		2.08	-	V <sub>DDAD</sub> *	V
I <sub>REF</sub>	VREF - Reference Supply Current	Enabled	-	200	-	μA
		Disabled or Sleep Mode	-	< 0.01	0.02	μA
V <sub>INDC</sub>	Analog Input Voltage <sup>1</sup>		V <sub>SSAD</sub> - 0.3	-	V <sub>DDAD</sub> + 0.3	V

1. Maximum electrical operating range, not valid conversion range.

\* V<sub>DDAD</sub> is connected to VCC.

Table 1-05. ADC Timing/Performance Characteristics<sup>1</sup>

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
R <sub>AS</sub>	Source Impedance at Input <sup>2</sup>		-	-	10	kΩ
V <sub>AIN</sub>	Analog Input Voltage <sup>3</sup>		V <sub>REFL</sub>		V <sub>REFH</sub>	V
RES	Ideal Resolution (1 LSB) <sup>4</sup>	2.08V ≤ V <sub>DDAD</sub> ≤ 3.6V	2.031	-	3.516	mV
DNL	Differential Non-linearity <sup>5</sup>		-	±0.5	±1.0	LSB
INL	Integral Non-linearity <sup>6</sup>		-	±0.5	±1.0	LSB
E <sub>ZS</sub>	Zero-scale Error <sup>7</sup>		-	±0.4	±1.0	LSB
F <sub>FS</sub>	Full-scale Error <sup>8</sup>		-	±0.4	±1.0	LSB
E <sub>IL</sub>	Input Leakage Error <sup>9</sup>		-	±0.05	±5.0	LSB
E <sub>TU</sub>	Total Unadjusted Error <sup>10</sup>		-	±1.1	±2.5	LSB

1. All ACCURACY numbers are based on processor and system being in WAIT state (very little activity and no IO switching) and that adequate low-pass filtering is present on analog input pins (filter with 0.01 μF to 0.1 μF capacitor between analog input and VREFL). Failure to observe these guidelines may result in system or microcontroller noise causing accuracy errors which will vary based on board layout and the type and magnitude of the activity.

Data transmission and reception during data conversion may cause some degradation of these specifications, depending on the number and timing of packets. It is advisable to test the ADCs in your installation if best accuracy is required.

2. R<sub>AS</sub> is the real portion of the impedance of the network driving the analog input pin. Values greater than this amount may not fully charge the input circuitry of the ATD resulting in accuracy error.

3. Analog input must be between V<sub>REFL</sub> and V<sub>REFH</sub> for valid conversion. Values greater than V<sub>REFH</sub> will convert to \$3FF.

4. The resolution is the ideal step size or 1LSB = (V<sub>REFH</sub> - V<sub>REFL</sub>)/1024

5. Differential non-linearity is the difference between the current code width and the ideal code width (1LSB). The current code width is the difference in the transition voltages to and from the current code.

6. Integral non-linearity is the difference between the transition voltage to the current code and the adjusted ideal transition voltage for the current code. The adjusted ideal transition voltage is (Current Code - 1/2) \* (1 / ((V<sub>REFH</sub> + E<sub>FS</sub>) - (V<sub>REFL</sub> + E<sub>ZS</sub>))).

7. Zero-scale error is the difference between the transition to the first valid code and the ideal transition to that code. The Ideal transition voltage to a given code is (Code - 1/2) \* (1 / (V<sub>REFH</sub> - V<sub>REFL</sub>)).

8. Full-scale error is the difference between the transition to the last valid code and the ideal transition to that code. The ideal transition voltage to a given code is (Code - 1/2) \* (1 / (V<sub>REFH</sub> - V<sub>REFL</sub>)).

9. Input leakage error is error due to input leakage across the real portion of the impedance of the network driving the analog pin. Reducing the impedance of the network reduces this error.

10. Total unadjusted error is the difference between the transition voltage to the current code and the ideal straight-line transfer function. This measure of error includes inherent quantization error (1/2LSB) and circuit error (differential, integral, zero-scale, and full-scale) error. The specified value of  $E_{TU}$  assumes zero  $E_{IL}$  (no leakage or zero real source impedance).