

---

# Capítulo 6

## Pruebas

---

En este capítulo se presentarán las pruebas que se le realizaron al *datalogger* con el fin de verificar su funcionamiento. Dado que se considera que el *datalogger* es un sistema de instrumentación, las pruebas realizadas se enfocaron en determinar en qué grado las mediciones realizadas por éste representan a las variables meteorológicas medidas. Adicionalmente, se realizó una prueba para determinar el consumo que el *datalogger* tiene para estimar cuanto será su tiempo de autonomía una vez operando en sitio.

### 6.1. Precipitación pluvial

En el caso de las pruebas de precipitación pluvial, se partió del hecho de que el pluviómetro de balancín instalado en el *datalogger* se encontraba debidamente calibrado de fábrica. Considerando lo anterior, se determinó que las pruebas sólo debían corroborar que el *datalogger* registrara los eventos de volcado del balancín de manera correcta. Así, el accionar del balancín se efectuó de manera manual para simular un evento de volcado. Con lo anterior, se evitó el uso de instrumentos adicionales para realizar las pruebas del *datalogger* relacionadas con la medición de la precipitación pluvial.

#### 6.1.1. Prueba de eventos

##### *Objetivo*

Determinar que los eventos generados por el pluviómetro de balancín sean debidamente registrados por el *datalogger* y no existan registros en falso.

## Desarrollo

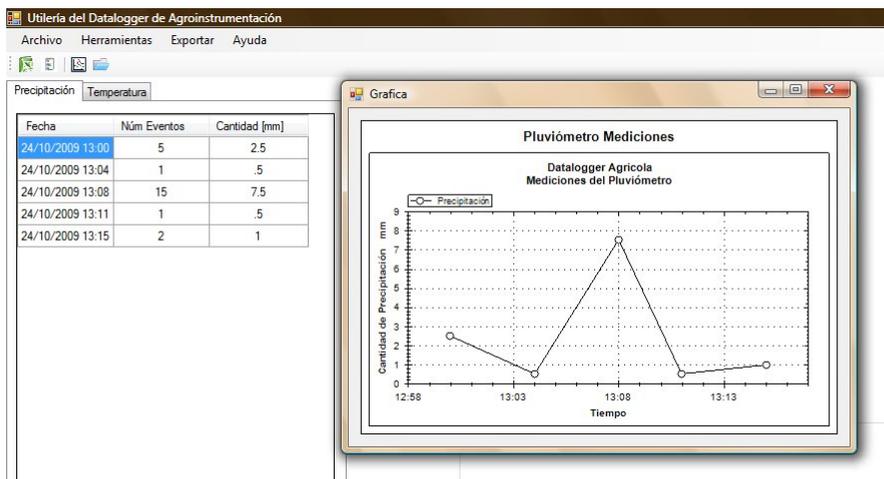
Primeramente, para realizar esta prueba, se estableció, por medio de la opción de calibración del programa, el valor de volcado del pluviómetro especificado por el fabricante, el cual es de 0.5 mm. Posteriormente, en un intervalo de quince minutos se volcó el balancín de acuerdo a los momentos marcados en la tabla 6.1. Finalmente, una vez terminado el último evento, se extrajeron las mediciones registradas por el *datalogger* mediante el programa desarrollado.

Hora	Número de eventos
13:00	5
13:04	1
13:08	15
13:11	1
13:15	2

**Tabla 6.1.** Eventos de volcado.

## Resultados

En la figura 6.1 se muestra una captura de pantalla de las mediciones obtenidas por el programa. Se puede verificar que el número y el momento de los eventos registrados por el *datalogger* coinciden plenamente con el mostrado en la tabla 6.1.



**Fig. 6.1.** Resultados de la prueba de eventos.

## Conclusiones

Dado que los valores de las tablas coinciden, se determinó que el *datalogger* no presenta registros repetidos o mediciones incorrectas. Se concluye que, siempre que el *datalogger* haya sido calibrado con el valor de volcado del balancín, no existirán problemas en la medición de esta variable.

## 6.2. Pruebas de temperatura ambiente

El procedimiento general para efectuar las pruebas de la temperatura ambiente consistió en comparar las mediciones realizadas por el *datalogger* con mediciones realizadas por otro equipo de la variable a medir. El objetivo principal de todas las pruebas fue que, al efectuar una comparación entre las mediciones del *datalogger* y las del otro equipo, se encontraran discrepancias entre ambas mediciones y posteriormente intentar corregir dichas discrepancias con el propósito de tener mediciones más próximas entre las variables adquiridas.

Dado que no se contaba con un sistema que asemejara el modo de adquisición del *datalogger*, se decidió construir un equipo propio para la realización de las pruebas efectuadas sobre esta variable.

El modo en que este equipo se diseñó para que realizara las mediciones de temperatura ambiente es similar al que fue utilizado en el diseño del *datalogger*. Durante su operación, el equipo para realizar las pruebas, toma una medición de la temperatura ambiente cada minuto y las reserva. En el momento de que una tasa de registro es alcanzado, el sistema promedia las mediciones realizadas hasta ese momento y las registra en memoria no volátil.

El equipo de pruebas fue desarrollado con los siguientes elementos de hardware:

- Un microcontrolador ATmega16
- Un LM35DZ como sensor de temperatura
- Un convertidor A/D de 12 bits MCP3304 y
- Un circuito integrado DS4305 para generar la tensión de referencia

El diagrama de dicho circuito se muestra en la figura 6.2. Como se puede apreciar el convertidor A/D se conecta a través de SPI al microcontrolador. Al primer canal del convertidor A/D (CH0), se conectó el sensor de temperatura LM35DZ y en la terminal para la tensión de referencia de éste se conectó el circuito DS4305. El microcontrolador fue conectado únicamente con los elementos básicos para su funcionamiento: una resistencia de *pull-up*, en su terminal de *reset*, y un cristal, en las terminales de su oscilador interno. Las terminales de su módulo USART están indicadas ya fue a través de éstas como se realizó el vaciado de los datos adquiridos por el microcontrolador.

La implementación de este circuito en una tarjeta prototipo se puede ver en la figura 6.3 y el sensor LM35DZ acondicionado para realizar las pruebas se puede ver en la figura 6.4.

Los elementos de hardware fueron seleccionados para intentar eliminar las fuentes de error que se considera están presentes en el *datalogger* durante la adquisición de la temperatura ambiente y son:

- Errores debido a la baja resolución del convertidor A/D
- Errores debido a la no linealidad de la sonda de temperatura
- Errores debido al *offset* que la sonda de temperatura presenta

El sensor de temperatura LM35DZ permite mediciones en un intervalo de los 0 [°C] a los 100 [°C], se encuentra calibrado para entregar una salida lineal de 10.0 [mV/°C] y posee una precisión de 0.4 [°C] cuando éste indica 25 [°C]<sup>1</sup>. Características adicionales sobre la precisión del LM35DZ se muestran en la tabla 6.2.

Si bien ni el sensor LM35DZ ni el equipo realizado para las pruebas se pueden considerar un instrumentos patrones para la medición de la temperatura ambiente, dado que no han seguido una calibración que asegure el error presente en la medición de éstos. Se pretendió mediante las pruebas realizadas encontrar que la tendencia de las mediciones del *datalogger* concordaran, en cierta medida, con el del equipo de pruebas.

El equipo de pruebas diseñado presenta ciertos inconvenientes en su diseño, por ejemplo, para mantener su diseño simple, en lugar de utilizar un reloj en tiempo real (RTR) para determinar los períodos de muestreo y registro, estos se obtuvieron por medio de los temporizadores del microcontrolador. Lo anterior se espera pueda derivar en posibles retrasos o adelantos de las mediciones realizadas por el equipo. Adicionalmente, por la misma falta de

<sup>1</sup> **National Semiconductor.** LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor datasheet.

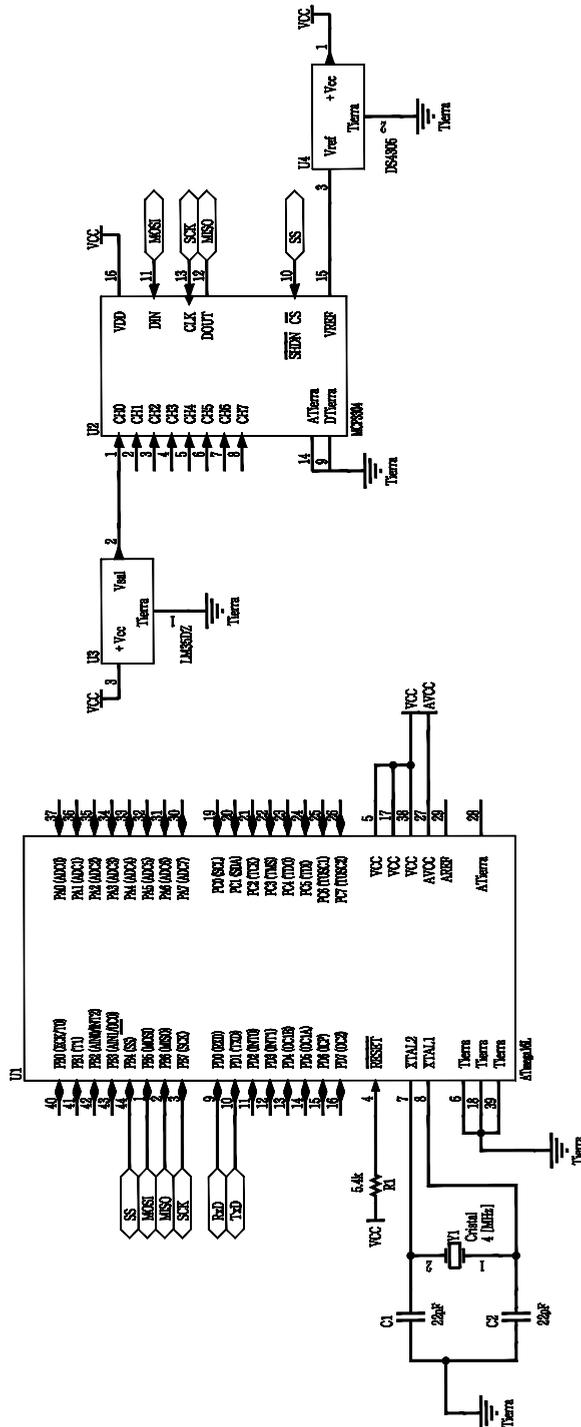


Fig. 6.2. Diagrama del equipo de pruebas.



Temperatura[°C]	Precisión[°C]
25	0.4
0	0.8
100	0.8

**Tabla 6.2.** Características del LM35DZ.

ello el valor de temperatura mostrado por el sensor LM35DZ cuando éste indicaba una temperatura ambiente de aproximadamente 20 [°C]. Las variables de calibración quedaron de la siguiente manera:

- La amplificación obtenida fue de 293.15 y
- El *offset* ente el LM35DZ y la prueba de temperatura fue de -0.83 [°C]

Una vez ajustadas las variables de calibración, ambos sensores fueron colocados a la intemperie protegiéndolos con un cobertizo de cartón para evitar corrientes de aire e insolación.

La prueba comenzó a las 23 hrs. al iniciar la adquisición del *datalogger* por medio de su botón principal y energizar el equipo testigo para que éste, de igual forma, comenzara la adquisición.

La prueba finalizó a las 23:17 hrs. del día siguiente momento en cual, el equipo de pruebas, indicó que había realizado su último registro. El momento de término de la prueba arrojó, como primer resultado, que existía un desfase en el tiempo de la medición de los datos adquiridos, esto debido a que el equipo de pruebas no terminó exactamente a las 23 hrs.

## Resultados

Durante el procedimiento de recepción de datos y de conexión del *datalogger* con la computadora no presentó ningún problema y los datos, una vez importados del *datalogger* fueron exportados a MS Excel. Este programa fue el que se utilizó para el análisis de los datos colectados tanto por el *datalogger* como por el equipo de pruebas.

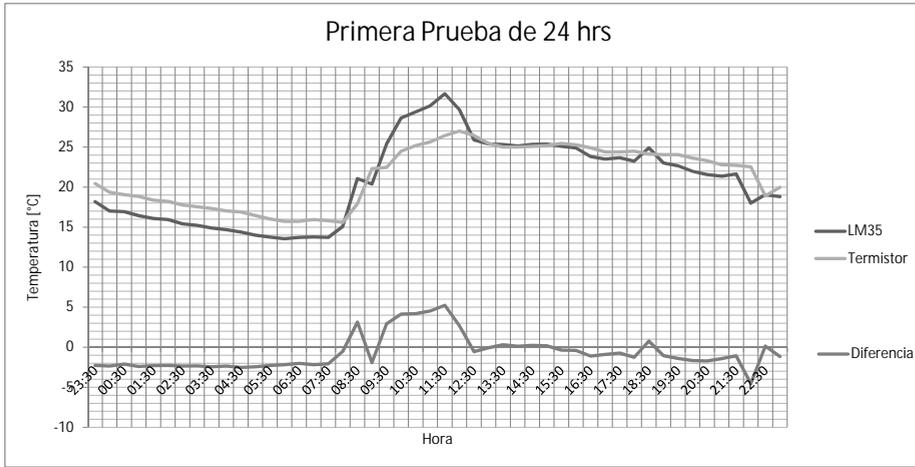
En las tablas 6.3.a y 6.3.b se muestran las mediciones hechas por el *datalogger*, el equipo de pruebas y la diferencia entre estas mediciones de ambos. En la figura 6.5 se muestra la gráfica de los valores mostrados en la tabla.

Hora	Temperatura del datalogger [°C]	Temperatura del equipo de pruebas [°C]	Diferencia [°C]
23:30	18.18	20.45	-2.27
00:00	17.01	19.36	-2.35
00:30	16.94	19.05	-2.11
01:00	16.43	18.83	-2.40
01:30	16.08	18.37	-2.27
02:00	15.95	18.22	-2.27
02:30	15.42	17.77	-2.35
03:00	15.22	17.55	-2.33
03:30	14.89	17.33	-2.44
04:00	14.68	17.03	-2.35
04:30	14.38	16.89	-2.51
05:00	14.00	16.45	-2.45
05:30	13.75	16.02	-2.27
06:00	13.54	15.73	-2.18
06:30	13.72	15.73	-2.00
07:00	13.77	15.95	-2.18
07:30	13.72	15.80	-2.08
08:00	15.09	15.59	-0.50
08:30	21.06	17.92	3.14
09:00	20.38	22.30	-1.92
09:30	25.39	22.46	2.93
10:00	28.63	24.49	4.14
10:30	29.39	25.19	4.20
11:00	30.15	25.63	4.52
11:30	31.67	26.44	5.23
12:00	29.67	26.99	2.68
12:30	25.89	26.44	-0.54
13:00	25.39	25.45	-0.06

**Tabla 6.3.a.** Mediciones de la prueba 1.

Hora	Temperatura del datalogger [°C]	Temperatura del equipo de pruebas [°C]	Diferencia [°C]
13:30	25.31	25.01	0.31
14:00	25.14	25.01	0.13
14:30	25.34	25.10	0.24
15:00	25.36	25.19	0.18
15:30	25.09	25.45	-0.36
16:00	24.89	25.28	-0.39
16:30	23.82	24.92	-1.10
17:00	23.49	24.40	-0.91
17:30	23.67	24.40	-0.73
18:00	23.24	24.49	-1.25
18:30	24.91	24.14	0.77
19:00	23.01	24.06	-1.05
19:30	22.66	24.06	-1.40
20:00	21.98	23.63	-1.65
20:30	21.57	23.29	-1.72
21:00	21.37	22.79	-1.42
21:30	21.65	22.71	-1.06
22:00	18.00	22.54	-4.54
22:30	19.04	18.90	0.14
23:00	18.81	19.98	-1.17

**Tabla 6.3.b.** Mediciones de la prueba 1.



**Fig. 6.5.** Resultados de la primera prueba de 24hrs.

A primera vista las mediciones aparentan tener una tendencia similar. A las 23 hrs. las mediciones de temperatura tienen un comportamiento descendiente hasta las 7 de la mañana, momento en que presentan una ligera recuperación, pero vuelven a caer hasta llegar a las 8 de la mañana. En este momento la temperatura presenta un elevado ascenso que dura hasta alcanzar el medio día momento en que se alcanza su máximo valor del periodo. A partir de ese momento, la temperatura vuelve a caer de manera lenta hasta las 22:30 hrs. En la medición de este período la temperatura presenta una abrupta caída, la cual pudo ser debida a constantes ráfagas de viento observadas durante esas horas. Finalmente, la última medición arroja una temperatura muy próxima a la presentada en la primera medición del día anterior.

La diferencia máxima de temperatura entre ambos sensores se observa a las 11:30 hrs. con 5.23 [°C] y la mínima a las 14:00 hrs. con 0.13 [°C]. Estas diferencias representan un error del 19.8% y 0.51% respectivamente.

### Conclusiones

Basados en la gráfica de la figura 6.5, podemos realizar las conclusiones concernientes a esta primera prueba. En primer lugar, se observa que al final de las mediciones existe un desfase en las señales. Este desfase fue originado por el retraso en la adquisición del equipo de pruebas.

Si bien tanto las mediciones del equipo de pruebas como las del *datalogger* siguen tendencias similares, entre ellas se presentan diferencias de varios grados centígrados. Cabe mencionar que, aunque esta diferencia no es constante, es similar entre determinados intervalos de temperatura.

Con lo anterior se concluye que aunque las variables de calibración de la sonda de temperatura fueron establecidas con respecto a las del LM35DZ antes de realizar las mediciones, aún existe un *offset* entre las mediciones adquiridas por éste y el equipo de pruebas. Aparentemente, y tomando en cuenta lo que especifica el fabricante, aunque la sonda de temperatura presenta un *offset* que puede ser eliminado con una calibración de un punto, el sistema en su conjunto presenta un *offset* que no sigue un comportamiento constante a través del rango de temperaturas a medir.

En la siguiente prueba realizada sobre el *datalogger* se intentará barrer todo el rango de medición de éste para detectar la tendencia que el *offset* presente sigue y una vez determinado intentar eliminarlo.

### 6.2.2. Prueba para determinar el *offset*

#### **Objetivo**

Determinar la diferencia entre las medidas tomadas por el *datalogger* y la salida del LM35DZ en el rango de temperaturas entre los +40 [°C] y los 0[°C].

#### **Desarrollo**

Ambos sensores de temperatura se sumergieron en agua a 40[°C] y se fue tomando el valor de temperatura de salida de ambos mientras el agua se enfriaba. Las mediciones del *datalogger* fueron obtenidas con un *offset* de calibración de 0.0 [°C] y mediante el modo prueba del programa de éste. Las mediciones de temperatura del LM35DZ se obtuvieron mediante la medición de la tensión a la salida de éste por medio de un multímetro. Cuando la temperatura del agua llegó a temperatura ambiente, ésta se continuó enfriando mediante la incorporación de hielo. La temperatura mínima alcanzada fue de 11.7 [°C].

Una vez obtenidas las mediciones de ambos sensores, se calculó la diferencia de temperatura entre éstos.

**Resultados**

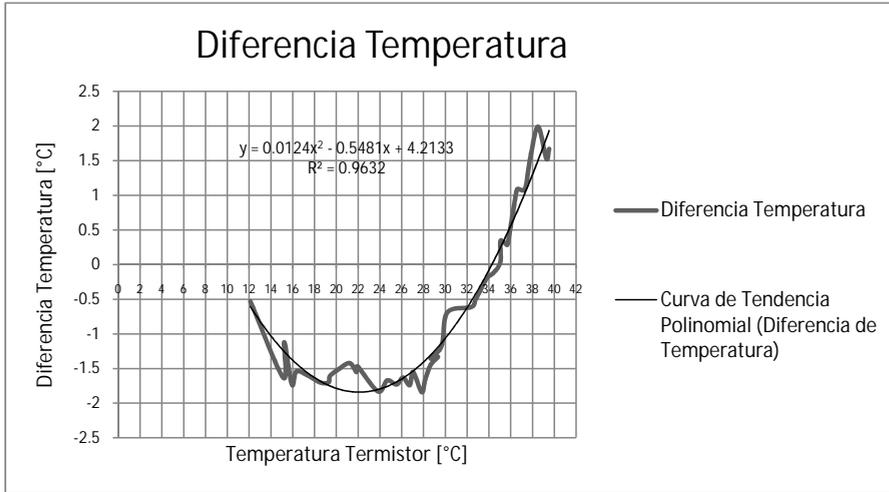
En las tablas 6.4.a y 6.4.b se muestran los resultados de las mediciones de temperatura de ambos sensores y su diferencia. En la figura 6.6 se muestra la gráfica de la diferencia de temperatura entre ambos sensores con respecto a la temperatura de salida del *datalogger*. Adicionalmente, en esta gráfica, se muestra la línea de tendencia de la curva resultante y la ecuación de dicha línea.

Temperatura del LM35 [°C]	Temperatura del <i>datalogger</i> [°C]	Diferencia [°C]
41.2	39.53	1.67
40.8	39.27	1.53
40.5	38.51	1.99
40.5	37.78	1.52
39.3	37.31	1.09
37.7	36.61	1.09
37.3	36.38	0.92
36.0	35.71	0.29
35.8	35.49	0.31
35.4	35.06	0.34
35.1	35.06	0.04
34.3	34.42	-0.12
33.6	33.80	-0.2
32.3	33.80	-0.5
31.8	32.41	-0.61
29.5	30.19	-0.69
28.5	29.67	-1.17
27.3	28.65	-1.35
28.0	22.33	-1.33
27.2	28.65	-1.45
26.5	28.16	-1.66
26.0	27.84	-1.84
25.5	27.05	-1.55

**Tabla 6.4.a.** Mediciones de calibración.

Temperatura del LM35 [°C]	Temperatura del <i>datalogger</i> [°C]	Diferencia [°C]
25	26.74	-1.74
24.5	26.13	-1.63
23.8	25.53	-1.73
23	24.67	-1.67
22	23.83	-1.83
20.5	21.97	-1.47
20.3	21.85	-1.55
19.8	21.22	-1.42
18.6	20.12	-1.52
17.8	19.41	-1.61
17.6	19.30	-1.70
16.8	18.50	-1.70
15.8	17.4	-1.60
14.8	16.34	-1.54
14.2	15.93	-1.73
14.1	15.23	-1.12
13.5	15.13	-1.63
11.6	12.12	-0.53

**Tabla 6.4.b.** Mediciones de calibración.



**Fig. 6.6.** Gráfica resultante de la prueba de *offset*.

## Conclusiones

Como se puede observar en la gráfica, se determinó que el *offset* de la sonda no es constante con respecto a las mediciones hechas con el LM35DZ. Adicionalmente, se observa que las mediciones salen con muchos saltos. Durante la realización de la prueba se observó que estos saltos se deben a variaciones de la salida del *datalogger*. Dado que la resolución del convertidor A/D nos da para un bit de cambio una gran variación en términos de grados centígrados, estas variaciones del convertidor afectaron mucho las mediciones realizadas.

Se consideró que para poder realizar mediciones más próximas entre el *datalogger* y el equipo de pruebas, el *offset* existente entre ambos sensores debía ser corregido. Lo anterior se realizó incorporando la ecuación de la curva de tendencia del *offset* mostrada en la gráfica a los datos obtenidos por el *datalogger*. En la siguiente prueba de 24 horas se buscará haber eliminado el *offset* que se presentó en la primera prueba de 24 hrs.

### 6.2.3. Segunda prueba de 24 horas

#### Objetivo

Determinar si la corrección del *offset* de las señales fue suficiente para lograr una mejor aproximación entre las mediciones hechas por el *datalogger* y el equipo de pruebas.

## Desarrollo

Al igual que la primera prueba de 24 horas, se dejaron ambos equipos adquiriendo la temperatura ambiente en un intervalo de 24 horas. Se protegieron los sensores en un cobertizo de cartón. Antes de realizar la prueba, se calculó de manera más precisa los tiempos del equipo de pruebas, por lo que el desfase de las señales de ambos equipos debe de ser minimizado.

## Resultados

En las tablas 6.5.a, 6.5.b y 6.5.c se muestran las mediciones obtenidas tanto del *datalogger* como del equipo de pruebas. Los resultados de la tabla se graficaron y se muestran en la figura 6.7. En esta última figura se puede apreciar que la tendencia de ambas gráficas es igual, sin embargo, los valores siguen presentando una diferencia de temperatura entre ambos sensores. Al igual que en la prueba número uno, se aprecia una gran discrepancia a altas temperaturas siendo registrado por el equipo testigo hasta 37.8 [°C].

La diferencia máxima entre los sensores para esta prueba fue de 9.93 [°C] a las 11:40 hrs. y la mínima fue de 0.00 [°C] a las 05:40 hrs. Estas diferencias representan un error de 35.55% y de 0% respectivamente.

Hora	Temperatura del <i>datalogger</i> [°C]	Temperatura del equipo de pruebas [°C]	Diferencia [°C]
20:10	16.48	16.32	-0.16
20:40	15.55	18.33	-2.78
21:10	15.87	18.67	-2.79
21:40	15.55	17.77	-2.22
22:10	15.10	17.34	-2.24
22:40	15.50	18.21	-2.71
23:10	15.55	18.21	-2.66
23:40	15.32	17.66	-2.34
00:10	12.95	15.09	-2.14
00:40	12.47	14.22	-1.75
01:10	12.47	13.89	-1.42
01:40	12.11	12.86	-0.74

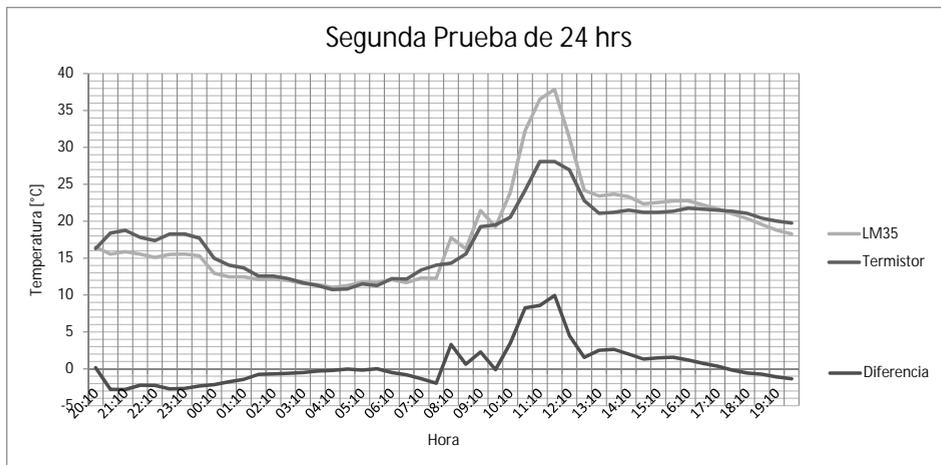
**Tabla 6.5.a.** Mediciones de la prueba 2.

Hora	Temperatura del <i>datalogger</i> [°C]	Temperatura del equipo de pruebas [°C]	Diferencia [°C]
02:10	12.17	12.86	-0.69
02:40	11.97	12.56	-0.59
03:10	11.56	12.06	-0.50
03:40	11.41	11.71	-0.30
04:10	11.03	11.24	-0.21
04:40	11.28	11.31	-0.03
05:10	11.74	11.92	-0.18
05:40	11.71	11.71	0.00
06:10	12.07	12.56	-0.49
06:40	11.69	12.49	-0.80
07:10	12.29	13.64	-1.35
07:40	12.27	14.22	-1.95
08:10	17.77	14.47	3.30
08:40	16.25	15.64	0.62
09:10	21.43	19.14	2.29
09:40	19.26	19.38	-0.12
10:10	23.86	20.39	3.47
10:40	32.26	24.00	8.26
11:10	36.53	27.93	8.60
11:40	37.87	27.93	9.93
12:10	31.25	26.77	4.48
12:40	24.16	22.61	1.55
13:10	23.43	20.91	2.52
13:40	23.68	21.05	2.63
14:10	23.33	21.32	2.01
14:40	22.37	21.05	1.32
15:10	22.54	21.05	1.49
15:40	22.80	21.18	1.56

**Tabla 6.5.b.** Mediciones de la prueba 2.

Hora	Temperatura del datalogger [°C]	Temperatura del equipo de pruebas [°C]	Diferencia [°C]
16:10	22.80	21.60	1.20
16:40	22.21	21.46	0.75
17:10	21.68	21.32	0.36
17:40	21.00	21.18	-0.18
18:10	20.35	20.91	-0.56
18:40	19.54	20.26	-0.72
19:10	18.78	19.88	-1.10
19:40	18.28	19.63	-1.35

**Tabla 6.5.c.** Mediciones de la prueba 2.



**Fig. 6.7.** Resultados de la segunda prueba de 24hrs.

## Conclusiones

Dado que la diferencia entre las mediciones se mantuvo, aunque se incorporó la ecuación del *offset* que existe entre el LM35DZ y la sonda de temperatura, se puede concluir que no se puede lograr que las mediciones de ambos sensores tengan diferencias pequeñas en el rango de medición simplemente mediante el ajuste del *offset*.

Como conclusión general de la adquisición de temperatura se determina que, en general la adquisición de la sonda de temperatura funciona de manera

adecuada dado que las mediciones mantienen una tendencia correcta, pero no se puede determinar que éstas tengan valores correctos hasta que no se realice una adecuada calibración del *datalogger*.

### 6.3. Prueba del consumo energético del *datalogger*

Esta prueba tiene como objetivo estimar el tiempo de autonomía energética del *datalogger*. Para ello primeramente, se realizó una prueba para determinar el consumo de energía que presenta el *datalogger*. Si bien el *datalogger* presenta diversos estados de operación y por lo tanto diversos valores de consumo de energía, para realizar esta prueba sólo se contempló el modo de adquisición ya que, es en este estado, en donde el *datalogger* se encontrará operando la mayor parte del tiempo.

En el modo de adquisición el *datalogger* se encuentra en espera de alguna interrupción externa que le indique la adquisición de alguna de las variables meteorológicas. En este estado el microcontrolador se encuentra en su estado de bajo consumo y el consumo del *datalogger* es básicamente debido al consumo del circuito de acondicionamiento del pluviómetro y de las memorias EEPROM.

#### **Objetivo**

Determinar el consumo de energía del *datalogger* cuando éste está operando en su modo de adquisición.

#### **Desarrollo**

Una vez que el *datalogger* se encontraba en modo de adquisición, mediante el uso de un multímetro se midió la corriente a la salida de la batería tipo C con la cual se alimentaba al *datalogger*.

#### **Resultados**

Los resultados arrojan que la corriente de salida de la batería, cuando el *datalogger* se encuentra en modo de adquisición, es de 2.21 [mA].

## **Análisis**

Considerando la capacidad energética del tipo de batería con el que se alimentará al *datalogger* se puede estimar el tiempo de servicio que éste tendrá. Así, considerando una batería alcalina de tamaño C con una capacidad de 8300 [mAh]<sup>2</sup> y un consumo de 2.21 [mA] por parte del *datalogger*, se estima que éste podrá operar hasta 3755.66 horas continuas, valor aproximadamente igual a 156 días.

## **Conclusiones**

Como conclusión se determina que si el *datalogger* operará todo el tiempo en modo de adquisición, éste tendría una autonomía en su operación de hasta 156 días. Dado que la operación del *datalogger* no es tal y que distintos modos de operación están presentes durante el uso normal del *datalogger*, se considera que éste no permanecerá en operación tanto tiempo. Si bien la mejor manera de saber cuál es la autonomía del *datalogger* es a través de mantenerlo en operación constante hasta que éste agote su batería, los cálculos aquí presentes nos permiten estimar que al menos una operación de tres meses con una batería tamaño C está garantizada.

Una vez descritas las pruebas realizadas al *datalogger* en el siguiente capítulo se expondrán las conclusiones que se obtuvieron de este proyecto.

---

<sup>2</sup> **Energizer**, *Product Datasheet Energizer E93*.

