UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

Sensores de código abierto como una alternativa de bajo costo para la evaluación del confort térmico en edificios

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: Álvaro Frías

PROFESOR GUÍA: Alexis Pérez Fargallo
PROFESOR CO-GUÍA: Muriel Díaz

CONCEPCION, 23 del 07 de 2018

Resumen

Se informa los resultados de una investigación conducente a proponer y validar nuevas tecnologías capaces de medir el confort térmico de las edificaciones a precios inferiores a los actualmente expuestos en el mercado.

La presente investigación trata sobre la obtención de datos de calidad y a bajo costo para la medición de estándares de confort térmico. Las actuales tecnologías de medición de confort térmico adaptativo no presentan las prestaciones para realizar estudios de bajo costo, siendo incompatibles con la mayoría de los estudios realizados en la actualidad, en una sociedad que apunta hacia la sustentabilidad de las edificaciones. El consumo de energía en acondicionamiento térmico de viviendas, por concepto de calefacción principalmente, les produce a las familias y al estado altos costos energéticos, lo que se traduce a la larga en altos índices de contaminación producto del consumo energético producido por el sobredimensionamiento de equipos. Existe un sinfín de normas y de estándares internacionales propuestos para medir los niveles de confort de las personas y así poder realizar un correcto dimensionamiento de equipos de calefacción para los recintos, o desarrollar propuestas para llegar a estados de confort, sin embargo, si actualmente no somos capaces de desarrollar tecnologías accesibles para la sociedad, con el fin de realizar mediciones exactas, no seremos capaces de resolver la problemática planteada.

Se propone validar nuevas tecnologías de código abierto para la medición de confort térmico adaptativo en construcciones, considerando criterios de medición, de estándares de confort térmico adaptativo en normativas internacionales y costos de implementación para la obtención de datos de gran confiabilidad a precios inferiores a los actualmente encontrados en el mercado.

Con ese objetivo se definen y estudian nuevas tecnologías de código abierto, las cuales midieron de manera paralela a equipos patentados del mercado actual, para conocer su desviación en los datos y conocer su fiabilidad, conjunto a su costo de implementación en una situación de medición real.

El trabajo concluye que la incorporación de nuevas tecnologías a costos inferiores a los actuales y con gran precisión en las mediciones es totalmente posible, verificando su correcto funcionamiento previo a la medición, cumpliendo con los criterios de medición establecidos por las normativas internacionales. Finalmente se estudian las reducciones en el costo de implementación, arrojando que el costo de implementación de los sistemas de código libre corresponde a un 9.64% respecto a las tecnologías patentadas, disminuyendo la inversión en un 90.36%.

Palabras claves: Confort térmico adaptativo, Arduino, Código Abierto, Sensores, Ambiente Térmico.

Abstract

The results of an investigation are reported, leading to the proposal and validation of new technologies capable of measuring the thermal comfort of buildings at lower prices than those currently exposed in the market.

The present investigation deals with obtaining quality data at a low cost for the measurement of thermal comfort standards. Current adaptive thermal comfort measurement technologies do not have the features necessary to perform low-cost studies. And are incompatible with most of the studies carried out at present (in a society that points towards the sustainability of buildings). The consumption of energy in thermal conditioning of homes, mainly for heating, gives families and the state high energy costs, which in the long term translates into high levels of pollution due to energy consumption caused by equipment oversizing. There is a lot of local standards and international standards proposed to measure the comfort levels of people and thus be able to perform a proper sizing of heating equipment for the enclosures, or develop proposals to reach comfort states. However, if we are not currently able to develop accessible technologies for society and make accurate measurements, we will not be able to solve this problem.

It is proposed to validate new open source technologies for the measurement of adaptive thermal comfort in buildings, while considering measurement criteria, adaptive thermal comfort standards in international regulations, and implementation cost to obtain high reliability data at prices below those currently found in the market.

With this objective, new open source technologies are defined and studied, which are measured in parallel with patented equipment of the current market, in order to know its deviation and to know and understand its reliability. The costs of implementation in a real measurement situation are also investigated.

The work concludes that the incorporation of new technologies at lower costs than the current ones and with great precision in the measurements is totally possible, verifying its correct functioning prior to the measurement, complying with the measurement criteria established by international regulations. Finally, the reductions in the cost of implementation are studied, showing that the cost of implementation of the open sources systems corresponds to 9.64% with respect to the patented technologies, decreasing the investment by 90.36%.

Keyword: Adaptive thermal comfort, Arduino, Open source, Sensor, Thermal environment.

Contenido

Capítulo 1. Estado del arte 4
Capítulo 2. Introducción 5
1.1 Hipótesis 7
2.1 Objetivo general 7
3.1 Objetivos específicos 7
Capítulo 3. Metodología 8
Capítulo 4. Marco Teórico 9
4.1 Consumo. 9
4.2 Confort térmico. 12
4.2.1 NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación 16
4.2.2 NORMATIVA INTERNACIONAL UNE-EN ISO 15251 17
4.3 Monitorización. 20
4.3.1 Sensores 21
4.3.2 Sistemas Patentados 22
4.3.2.1 TECNOLOGIAS PATENTADAS PARA LA MEDICION DE CONFORT 22
4.3.3 Sistemas de código libre 25
4.3.3.1 Arduino 25
4.3.3.2 Arduino y su mecanización 29
4.3.4 Normativas internacionales para la monitorización 30
Capítulo 5. Elementos empleados en la investigación 31
5.1 Mediciones con sistemas de código libre 31
5.2 Mediciones con sistemas patentados 34
5.3 Softwares utilizados 35
Capítulo 6. Implementación y resultados de investigación 38
6.1 Implementación de investigación 38
6.1.1 Sensor Interior 39
6.1.2 Sensor Exterior 39
6.1.3 Ambiente de estudio 39
6.2 Resultados de investigación 41
6.2.1 Desviación de las temperaturas exteriores y temperaturas interiores de aire monitorizadas. 43
6.2.2 Desviación entre los resultados de confort térmico adaptativo obtenidos. 63
6.2.3 Factibilidad de implementación de ambas tecnologías desde una perspectiva monetaria. 66
Capítulo 7. Conclusiones 78
7.1 Ventajas 78
7.2 Desventajas 78
7.3 Propuestas de trabajos futuros. 79
Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA 80
Capítulo 9. Anexos 82
9.1 Anexos 1 83
9.2 Anexos 2 86
9.3 Anexos 3 89

Capítulo 1. Estado del arte

Gracias al aumento de investigaciones, se ha creado la necesidad de obtener resultados mediante elementos computacionales, por lo que en el desarrollo de estas se han visto obligados a utilizar nuevas tecnologías las cuales sean capaces de obtener resultados de gran precisión con menores recursos.

En la actualidad la utilización de equipos de medición se ha vuelto indispensable para la obtención de zonas con confort térmico, ya que se requiere equipos de alta precisión, sin embargo, estos poseen precios elevados, lo que dificulta su obtención para la realización de estudios.

En este contexto son muchas las investigaciones que se han desarrollados con nuevas tecnologías principalmente de código abierto. Los desarrollos de las tecnologías mediante código abierto se ven facilitado en su concepción y mejoramiento debido a la comunicación con comunidades capaces de aportar en el desarrollo de estas tecnologías.

La aplicabilidad de placas microcontroladoras de Arduino como sistema de código abierto en la implementación de sistemas antiguos, genera una gran cantidad de prestaciones y una alta compatibilidad a dichos sistemas debido a la maleabilidad de la plataforma. Por ello existen diversas investigaciones que configuran sistemas de código libre para la compatibilidad con sistemas de hardware antiguo no compatibles con sistemas actuales (Faugel & Bobkov, 2013, p. 1276).

Otra forma de utilización de la plataforma Arduino en la actualidad ha sido la medición de temperatura y humedad en estructuras de hormigón y en otras situaciones, verificando los procesos de curado del hormigón, de esta manera las mediciones de ambientes térmicos se hacen presente de maneras específicas, como elementos visualizadores de resultados en los procesos constructivos.

En los estudios de Barroca et al. 2013. se ha demostrado que empleando sistemas de microcontroladores o plataformas de arduino para dichas mediciones las desviaciones son menores a 5ºC entre los valores reales y los valores experimentales. En los resultados de temperatura las lecturas se obtuvieron de manera exitosa durante las primeras 16 horas, mientras que las lecturas de humedad se realizaron con éxito las primeras 24 horas del experimento.

Es posible manifestar que en la actualidad existen investigaciones que utilizan las placas microcontroladoras de código abierto como Arduino, donde su aplicación reduce los costos en las investigaciones y entrega resultados certeros en los usos específicos señalados.

Sin embargo, actualmente no se ha demostrado la real fiabilidad de los usos de código abierto, ya que estas mediciones pueden no ser validables ante normativas internacionales, donde no solo se ve el resultado único, sino que ven una sumatoria de resultados. Como se ha mostrado en el escrito anterior de “Barroca et al”, no se especifican las confiabilidades en usos prolongados, ni tampoco se realizan estudios de validación de los instrumentos, ya que es debido considerar que los instrumentos de código libre son programados por los mismos investigadores.

Capítulo 2. Introducción

Hoy en día las construcciones poseen un gran interés en mejorar la calidad de vida de las personas, la cual se refleja mediante el confort térmico que estas pueden tener. Actualmente existen modelos de confort térmico adaptativo que buscan mejorar los estándares de habitabilidad de los recintos.

Los modelos de confort térmico no poseen únicamente el fin de mejorar el estándar de vida para las personas que habitan los espacios, sino que también son utilizados para la optimización de recursos en las edificaciones. De este modo los modelos de confort adaptativo han resultado una gran herramienta para el dimensionamiento de los equipos mecánicos utilizados en las edificaciones.

Sin embargo, cabe destacar que no es hasta la década de los años 20 cuando la inquietud por entender y mejorar los espacios que habitamos sale a relucir. Es así como se comienzan estudios sobre los espacios y su injerencia en las personas que los habitan.

Las mediciones de los espacios han variado a lo largo de los años, dado que las tecnologías también han ido mejorando sus precisiones. En la actualidad existen tecnologías con un alto índice de precisión, lo que ayuda a realizar de manera más precisa el mejoramiento de los ambientes interiores en los cuales se realizan las mediciones.

A nivel internacional son varias las normativas que hacen referencia a estándares de confort térmico, dentro de las más renombradas se encuentran la normativa ASHRAE y la normativa UNE-EN. Estas normativas establecen los rangos de confort térmico para las personas y poseen diversos apéndices, con el fin de mejorar la calidad de vida y también disminuir el consumo energético de las edificaciones debido a logra el confort térmico.

Desde un punto de vista nacional no existen criterios firmes de evaluación de confort térmico, y los modelos utilizados en el país para la medición con fin de aumentar la calidad de vida de los trabajadores en sus espacios laborales se encuentran basados en el método creado por P.O Fanger.

Sin embargo, la preocupación de mejoramiento del confort térmico en las edificaciones, trae como consecuencia la disminución de consumo energético. Es por esto que la investigación posee relevancia a nivel internacional.

Otro factor para la medición de los ambientes interiores de las edificaciones, radica en el mejoramiento del rendimiento de las personas que los habitan, de este modo, tenemos que las empresas y oficinas también ponen su atención en los equipos de climatización de los edificios. El realizar construcciones con mejores estándares de calidad de vida para las personas, mejora la productividad de empleados y también mejora la percepción de los espacios habitados.

Sin embargo, debemos considerar que en la actualidad la creación de ambientes confortables se encuentra limitada a la tecnología que se es capaz de adquirir para mejorar los espacios. Es de este modo, muchas edificaciones no cuentan con estudios de ambiente post ocupacional, debido a los costos referidos a dicha operación.

En el mercado actual gran parte de los equipos de medición de espacios utilizados para la realización de investigaciones como también para el estudio post ocupacional de edificaciones, es realizado mediante equipos de tecnología patentada, lo que incrementa los valores de los equipos requeridos para la realización de estudios y mediciones. Sin embargo, existen diversas investigaciones realizadas con equipos de tecnología libre creada por los propios investigadores, ayudando de esta manera a reducir los costos de obtención de tecnologías para las mediciones especializadas.

Muchas de las tecnologías patentadas que se ofrecen en el mercado, se encuentran validadas ante normativas internacionales y son homologadas frente a otras para su libre utilización, ya sea en investigaciones en trabajos específicos. Por otra parte, se encuentran las tecnologías de código libre, las cuales no se encuentran validadas ante normativas internacionales, dado que, al ser configurada por los investigadores, estas pueden ser creadas de diferentes maneras.

Sin embargo, la realización de un estudio de eficacia de las tecnologías de código abierto frente a las tecnologías patentadas en cuanto a la desviación de las mediciones que cada una puede obtener, es un paso ante la validación de dichos sistemas.

De esta manera, la presente investigación busca establecer la eficacia de los sistemas de código abierto, también conocidos como código libre frente a los sistemas patentados. Dada la actual situación en la cual cada día se requiere una mayor obtención de datos para generar estudios de eficiencia energética y de sustentabilidad de manera confiable y de datos precisos es que nace la presente investigación.

Se busca dar validez a sistemas con códigos de libre acceso (específicamente sistema Arduino) con el fin último de poder encontrar nuevos métodos de medición, que sean utilizables en nuevas investigaciones y/o trabajos en los cuales se requiera generar mediciones de confort térmico de espacios y que no cuenten con recursos para generarlas con sistemas patentados actuales validados internacionalmente.

De este modo la investigación adquiere relevancia no solo en un panorama nacional, sino que en un panorama internacional investigativo y social, dado que la aplicabilidad de dichos sistemas puede extenderse a sectores de bajos recursos para el mejoramiento de los espacios.

Es de esta manera se plantea y da paso a la siguiente hipótesis, objetivos generales y específicos.

1.1 Hipótesis

La evaluación de confort térmico de un espacio puede realizarse empleando software y hardware de código abierto, obteniendo desviaciones en la medición de a temperatura del aire de + - 0,5°C respecto a la medida con un HOBO ONSET y un porcentaje de desviación inferior al 5% si los datos se usan para evaluar situaciones de confort térmico adaptativo mediante la normativa internacional UNE-EN-15251 con un costo de inversión inferior al 80%.

2.1 Objetivo general

Validar el uso de hardware y software de código abierto, para la medición de temperatura y situaciones de confort térmico adaptativo frente equipos y softwares patentados.

3.1 Objetivos específicos

1. Estudiar la desviación de las temperaturas exteriores y temperaturas interiores de aire monitorizadas con sensores de código abierto, frente a las recolectadas con softwares y equipos patentados.

2. Determinar el porcentaje de desviación entre los resultados de confort térmico adaptativo obtenidos con una tecnología patentada y una de código abierto mediante la normativa UNE-EN-15251.

3. Analizar la factibilidad de implementación de ambas tecnologías desde una perspectiva monetaria.

Capítulo 3. Metodología

Se generará un estudio experimental el cual se basará en mediciones in-situ bajo dos sistemas de medición, uno basado en código abierto y el otro en la toma de mediciones de hardwares y softwares patentados, para así poder comprobar mediante la correlación de datos la validez de sistemas de código abierto y sensores de bajo costo.

A continuación, se detallan los pasos metodológicos que rigen este proyecto:

- Revisión del estado del arte respecto al uso de sensores con tecnología de código abierto en la monitorización de variables ambientales, normativas de medición y entendimiento del contexto país y global, mediante una mirada de consumo energético, bajo el cual se aplicará el estudio.

- Selección del espacio para la medición y evaluación de las variables de temperatura y confort térmico adaptativo mediante las normativas internacionales correspondientes.

- Implementación de un protocolo de medición, el cual servirá de guía en la etapa experimental de la investigación, este protocolo estará basado en la normativa.

- Monitorización en paralelo de variables ambientales mediante sistemas de código abierto y equipos patentados tales como HOBO para la obtención de un máximo de 43200 datos referentes a temperatura (15 días).

- Tratamiento de datos mediante Excel para calcular horariamente la situación de confort de los ocupantes aplicando las ecuaciones de confort adaptativo establecidas en la normativa internacional.

- Calcular la desviación de las temperaturas de aire monitorizadas con sensores de código abierto frente a las recolectadas con equipos patentados con el software Excel.

- Determinar el porcentaje de desviación entre los resultados de confort térmico adaptativo obtenidos bajo la normativa internacional UNE-EN ISO 15251 con una tecnología patentada y una de código abierto con el software Excel.

- Valorar económicamente la implementación de la tecnología de código abierto para la monitorización de variables ambientales relacionadas con el confort térmico en edificios.

- Analizar la diferencia de costos de implementación de sensores y software de código abierto frente a tecnologías patentadas.

- Conclusiones generales, correlacionando las conclusiones de datos, junto a conclusiones económicas.

Capítulo 4. Marco Teórico

En este capítulo se pretende dar hincapié en los conceptos más relevantes que se tratarán durante los siguientes capítulos, siendo los que se presentarán para lograr la total comprensión del estudio, en especial a los conceptos relacionados con el confort térmico y conceptos relacionados a la ingeniera informática como puede ser "código libre" u otros. Con este fin fue de vital importancia el apoyo bibliográfico, dado que nos entregan una visión completa de los conceptos utilizados y sirven de apoyo para validar la presente investigación.

La presente investigación se enmarca en una creciente demanda de recopilación de datos de calidad a bajo costo como se muestra en diferentes investigaciones donde se menciona que: "La recopilación de datos de alta calidad está aumentando a nivel mundial con el objetivo de medir las condiciones ambientales y el consumo de las edificaciones." (Ali, Zanzinger, Debose, & Stephens, 2016, p. 114).

Sin embargo, en la actualidad existen diversos sistemas de recopilación de datos que poseen ventajas y desventajas, dentro de estos sistemas se encuentran dos grandes áreas que son capaces de englobarlas: patentados y de código abierto. Las áreas antes mencionadas poseen diferentes repercusiones socio-económicas en los ambientes que son aplicados, dentro de este aspecto es de gran relevancia destacar la necesidad de equipos de medición de fácil acceso y de gran versatilidad, dado que podrán generar mayores prestaciones que repercutirán directamente en el consumo de las edificaciones a analizar.

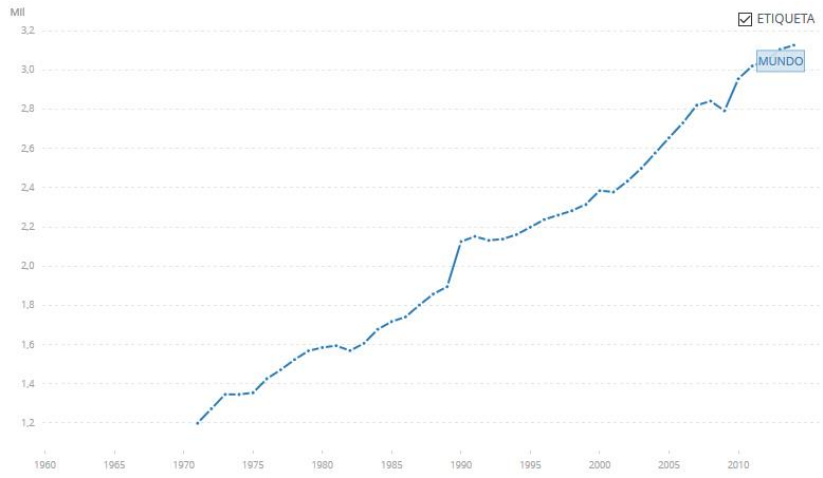
4.1 Consumo.

El consumo energético está definido por la cantidad de energía eléctrica que requiere para desarrollar las actividades diarias, por lo que para entender el consumo se debe definir primero la energía eléctrica la cual podemos definirla de la siguiente manera: es la potencia eléctrica producida, transmitida o consumida en un período determinado, esta la medimos y la expresamos en vatio hora (Wh).

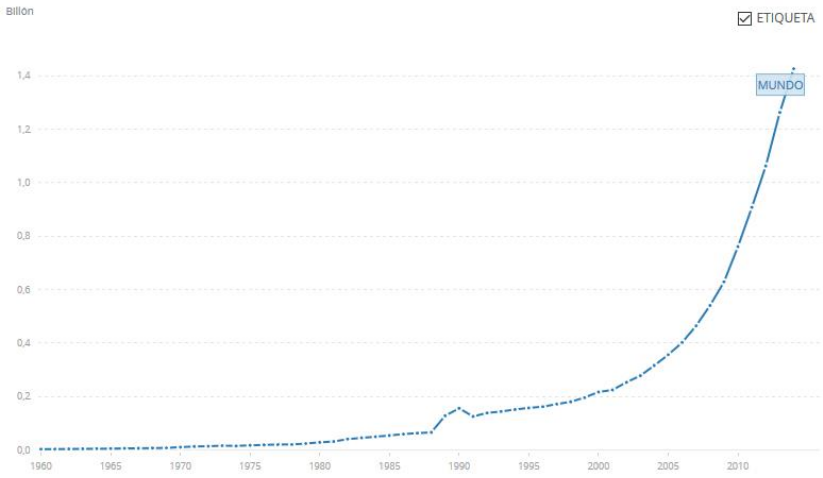
El consumo de energía se convierte en una gran preocupación en la operación diaria de las personas, siendo un ámbito de relevancia internacional dada la tendencia al aumento de consumo de energía a nivel mundial. Del mismo modo, el consumo de energía ya ha recibido mucha atención en otras áreas de investigación como electrónica de vehículos y electrónica general, donde entran el grupo de electrodomésticos y electrónica industrial.

Con el fin de la disminución de consumo energético en las edificaciones, es que se realiza el modelamiento y dimensionamiento de los equipos de climatización de los edificios, esto mediante la utilización de los sistemas de confort térmico adaptativo. Dicha preocupación por la disminución de los consumos energéticos en edificaciones se ve reflejado también por el banco mundial ("Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) | Data," n.d.). El banco mundial dice que hoy en día nos enfrentamos a un panorama global abrumador, debido a un aumento exponencial del consumo energético desde los años 70 a la fecha principalmente en combustibles fósiles, y que recién a partir de la década del 2000 vivenciamos un consumo de energías no convencionales de manera exponencial equiparable a las de los combustibles fósiles.("Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) | Data," n.d.)

Tal como se muestra en los siguientes gráficos obtenidos del banco mundial



(Consumo todas las energías mundial)



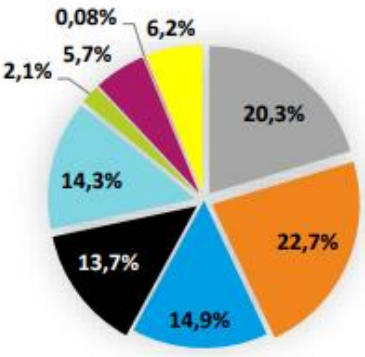
(Consumo energías renovables mundial)

Figura 4.1: Gráfico línea temporal de energia utilizada a nivel mundial.

Fuente: Coordinador eléctrico Nacional

Desde el punto de vista de las construcciones, los modelos de confort térmico adaptativos, han ayudado a la mitigación de los gastos que las edificaciones producen tanto en energías convencionales para la calefacción como también en las energías no convencionales.

A nivel nacional el panorama del consumo de energía eléctrico también ha repercutido en políticas públicas, dado los tratados internacionales en los cuales Chile ha realizado su participación. Es posible observar que, si bien chile posee una curva de crecimiento en la utilización de energías fósiles o de sus derivados, chile ha aumentado la utilización de energías renovables, tales como la eólica o la solar, sin embargo, cabe considerar que la energía utilizada en chile corresponde mayoritariamente a energías no renovables como se muestra en el gráfico a continuación:



SIC + SING	Capacidad [MW]
Gas Natural	4.626,9
Carbón	5.163,7
Embalse	3.402,0
Derivados Petróleo	3.117,7
Pasada	3.244,3
Biomasa	483,1
Eólico	1.299,3
Cogeneración	17,5
Solar	1.409,2
Total	22.763,6

Fuente: Coordinador Eléctrico Nacional

Dirección de Estudios y Contenidos
Generadoras de Chile A.G. | www.generadoras.cl 9

Figura 4. 2: Gráfico de energía utilizada en chile.

Fuente: Coordinador eléctrico Nacional

Actualmente la tecnología apunta a la optimización de la energía, de modo de tener tecnologías más eficientes que ayuden a la optimización de los procesos de generación de la misma energía tanto a nivel nacional como a nivel mundial, esto también repercute en que se cree un espectro más amplio de tecnologías con menor consumo energético.

En el área de las viviendas y la edificación, se ha generado un sinfín de tecnologías que ayudan a mantener a las personas en estado de confort térmico recurriendo al consumo de energía para lograr los estados de confort, ya sea aires acondicionados, energías geotérmicas para la calefacción. También existen sistemas que sirven de complemento para la mantención de los recintos en zona de confort y que sirven para optimizar las tecnologías de mantención de confort, estos son los sensores que se utilizan por ejemplo en calefactores, aires acondicionados, sistemas de ventilación, etc. Estos sensores son capaces de disminuir el consumo energético de las instalaciones en los edificios, por esta razón son complementos de gran importancia al momento de pensar en generar las instalaciones de nuestras edificaciones de manera más eficiente.

Tal como plantea la siguiente tesis, hoy en plena época de tecnologías debemos monitorizar el consumo de estas instalaciones tecnologías mediante vías que nos permitan realizarlo y nos permitan lecturas sistemáticas de los parámetros evaluados. “Para garantizar el control sobre el consumo energético de la tecnología, se implementan diferentes vías. Sin embargo, el método más usado en la actualidad es la lectura sistemática de los metros contadores” (Mar-Cornelio, O., & Caedentey-Moreno, N. p.191 (2016))(“Monitoreo energético en los laboratorios de la Universidad de las Ciencias ...: EBSCOhost,” n.d.).

La utilización de metros contadores nos genera una lectura general de lo que ocurre con nuestras instalaciones, pero no nos entregan informes detallados al respecto, ya que no es capaz de medir intervalos pequeños de tiempos, y solo nos entrega una concepción general de lo que las

instalaciones realizan. Sin embargo, mediante una monitorización automatizada podemos realizar mediciones acuciosas de pequeños intervalos de tiempo y ser capaces de prolongar mediciones de pequeños intervalos de tiempo obteniendo un panorama más complejo del funcionamiento de las instalaciones que deseemos monitorizar. He ahí la relevancia de poder contar con tecnologías que sean capaces de monitorizar diversas situaciones tales como realizar mediciones de temperatura humedad, etc. y generar informes en intervalos de tiempo que resultan de gran utilidad para comprender el desempeño del recinto evaluado. Esto se traduce en poder tomar medidas certeras respecto a los problemas que un edificio o una instalación puedan presentar, disminuyendo de esta manera el consumo energético que el lugar de estudio presente.

Uno de los factores que se debe considerar al momento de verificar el consumo energético de algún edificio como se menciona en la siguiente tesis de magister (PASCUAL ROMÁN, 2015, p. 156) es comprobar que tipo de edificación es la que requiere las instalaciones tecnológicas, si es una construcción o rehabilitación, dado que en edificios se posee espacios reducidos o inexistentes para la instalación de equipos. Debido a que tal como se menciona en edificios ya construidos que requieren refacción, no se dispone necesariamente de los espacios para las instalaciones y esas construcciones no fueron diseñadas de manera eficiente, porque el consumo de las instalaciones tecnológicas puede ser mayor a un edificio previamente diseñado para el uso de las mismas instalaciones.

Por esta razón se debe considerar que los elementos complementarios a las instalaciones son de vital importancia como se menciona con anterioridad debido a que nos van a ayudar a controlar el consumo de las instalaciones, siempre que se considere su debido uso y su previa planificación.

4.2 Confort térmico.

Si bien el confort térmico no fue estudiado hasta la década de los 20, actualmente existen diversos estudios y multiplicidad de reglamentaciones relacionadas al confort térmico estudiando el estado óptimo en ambientes interiores y como afectan los espacios habitables en las personas, desde un punto de vista de productividad como también en la manera de habitar los espacios. También existen diferentes estudios de confort térmico en ambientes exteriores, sin embargo, en los primeros estudios no se consideraban todas las variables que consideramos hoy en día para las mediciones de este factor.

Los autores Albornoz V. y Vilasau D. (Christian Albornoz V., Rolando Vilasau D., n.d., p. 4) nos mencionan que mediante el balance térmico es posible medir el confort térmico, sin embargo, esta metodología no mide objetivamente las sensaciones térmicas, ya que los organismos son capaces de lograr un balance térmico en situaciones donde no se garantiza que las personas se encuentren en zonas confortables.

Una de las primeras propuestas para la medición de confort térmico fue desarrollada en el año 1923 por Yaglou y fue llamada “temperatura efectiva”, en este método intervienen las variables temperatura del aire, temperatura húmeda del aire y velocidad del aire, ofreciendo mediciones donde existían sujetos vestidos y en reposo.

El método de Yaglou, por su parte carecía de medición de temperatura radiante, de esta manera aparece en 1946 el método “temperatura efectiva corregida” desarrollada por Bedford quien

dentro de su método incluye la temperatura radiante mediante la inclusión de la medición de temperatura globo, lo cual fue un gran avance a las mediciones de confort como las conocemos hoy en día.

Finalmente, en el año 1973 Povl Ole Fanger desarrolla un método en el cual se observan la mayor cantidad de variables que utilizamos hoy en día, este ha servido como base para una gran cantidad de normativas internacionales actuales, dado que las variables incluidas, contribuyen a entender la relación de las personas con su ambiente y las sensaciones térmicas que estos pueden tener, las variables incluidas fueron: nivel de actividad (física), características de la ropa, temperatura seca (del aire ambiental), humedad relativa del ambiente, temperatura radiante media y velocidad del aire

Los autores (Christian Albornoz V., Rolando Vilasau D., n.d., p. 4) plantean que el método permite cuantificar que porcentaje de insatisfechos existe (PMV) y cuál es el porcentaje de personas que se encuentran conformes o disconformes (PPD) con el ambiente. La correlación propuesta por Fanger es el resultado de un estudio estadístico realizado a 1.300 personas expuestas durante tres horas a un ambiente determinado.

Los autores (Christian Albornoz V., Rolando Vilasau D., n.d., p. 5) nos plantean que el confort térmico es el conjunto de una serie de variables que la componen, y definen los rangos de confort térmico referente a la sensación térmica del usuario en un espacio determinado, este ambiente puede ser vivienda, oficina o espacio en el que se encuentre el usuario.

Entendido el significado de confort térmico, es factible mencionar que las personas pueden o no encontrarse dentro de una zona de confort la cual en el estándar internacional Ashrae 55-2013 queda definido como “combinaciones de temperatura del aire, temperatura media radiante y humedad que se predice que son un ambiente térmico aceptable a valores particulares de velocidad del aire, tasa metabólica y aislamiento de la ropa” (Olesen, n.d., p. 5)

El nivel de confort térmico está relacionado con la sensación térmica. Sin embargo, uno puede sentirse incómodo cuando hace demasiado calor o cuando hace demasiado frío porque tal como se plantea en algunos estudios “…El nivel de confort térmico está relacionado con la sensación térmica…” (Givoni et al., 2003, p. 80)

(Mesas-Carrascosa, Verdú Santano, Meroño, Sánchez de la Orden, & García-Ferrer, 2015, p. 74) plantean que los estudios de confort térmico adaptativo se crearon con el fin último de generar estándares de confort térmico, homologando así los criterios existentes. De esta manera es posible controla la temperatura de maneras remotas y disminuir los consumos en las edificaciones, en referencia al ámbito térmico.

Mediante el estudio del ambiente térmico somos capaces de desglosar las variables de medición térmica como lo son la temperatura del aire, velocidad del aire, humedad relativa, temperatura radiante, temperatura operativa, entre otros factores que hacen que seamos capaces de calcular los elementos para un bienestar térmico en un recinto.

Hoy en día existen numerosas normativas y estándares nacionales e internacionales que hablan sobre el ambiente térmico, para mejorar el bienestar térmico. Dentro de las normativas más

destacadas y utilizadas, se encuentra sin duda alguna el estándar internacional de la ASHRAE 55-2017

Otra normativa muy utilizada a nivel internacional dada su rigurosidad al momento de realizar estudios es la normativa UNE-EN-ISSO 15251, esta al igual que el estándar mencionado anteriormente, funciona en conjunto con normativas ISSO y estándares que nos ayudan a la total comprensión de los espacios, como también al cómo realizar las mediciones de estos.

Para lograr medir variables complejas como es el confort térmico, primero es necesario comprender las variables que la componen tales como temperatura del aire, velocidad del aire, temperatura media, entre otras que sirven para la comprensión de los espacios.

La temperatura del aire es una de las variables base del comportamiento térmico de los recintos y definida como "la temperatura del aire que rodea el ocupante".(Olesen, n.d., p. 4). Este parámetro se mide en grados Celsius (°C), existen diversos instrumentos que sirven para obtener este parámetro, sin embargo, no todos están patentados y homologados a las normativas internacionales, siendo un factor importante al momento de validar mediciones verificar que el instrumento a utilizar este homologado a las normativas internacionales.

La temperatura del aire es uno de los factores más importantes al momento de calcular la temperatura operativa de un recinto y poder calcular el confort térmico de un recinto, por lo que obtener resultados confiables es de vital importancia al momento de realizar investigaciones.

Otro de los factores que componen la monitorización de confort térmico corresponde a la velocidad del aire siendo uno de los factores a considerar de manera relevante dentro del ambiente térmico en post de un confort térmico, (Olesen, n.d., p. 5) define esta variable como: "la tasa de movimiento de aire en un punto, sin importar la dirección"

Temperatura media según (Olesen, n.d., p. 10) se considera de la siguiente manera "la velocidad promedio del aire que rodea a un ocupante representativo. El promedio es con respecto a locación y tiempo. El promedio espacial es de tres alturas como definido para la temperatura media del aire (ta). La velocidad del aire se promedia en un intervalo no inferior a uno ni superior a tres minutos. Las variaciones que se produzcan durante un período superior a tres minutos se tratarán como múltiples velocidades de aire diferentes."

Otro factor relevante de comprensión corresponde a la humedad relativa ambiental, este al igual que el concepto anterior es uno de los factores de gran relevancia a considerar al momento de generar una evaluación de confort térmico, dado que como algunos autores hacen referencia respecto a las manifestaciones de humedad en recintos habitables, (Lotersztain, 1970) plantea que El desarrollo de humedad en las edificaciones origina problemas de salud e incomodidad en las personas, además de daños en las viviendas y el aumento de gérmenes en el ambiente. También plantea que la humedad es un factor que provoca corrosión y pudrición en elementos metálicos y de madera respectivamente, afectado a su vez la envolvente térmica.

Pero también la humedad relativa se define en las normativas y estándares internacionales con el fin de lograr aunar los criterios de medición de este factor, por lo que según el estándar ASHRAE 55-2013 la humedad relativa se considera como una referencia general al contenido de humedad del aire. "Se expresa en términos de varias variables termodinámicas, incluida la presión de vapor,

la temperatura del punto de rocío, la temperatura del bulbo húmedo, la relación de humedad y la humedad relativa. Se promedia espacial y temporalmente de la misma manera que la temperatura del aire." (Engineers American Society of Heating, 2013, p. 4). De esta manera la normativa establece que cualquiera de las variables especificadas de humedad se debe usar junto con la temperatura de bulbo seco para describir una condición de aire específica.

Así también tenemos variables tales como temperatura media radiante, esta hace referencia a los elementos que afectan la temperatura de un recinto, mediante su temperatura emitida por radiación, tal es el caso de techumbres muros pisos, y elementos que pueden emitir radiación hacia un recinto, también está definido en la normativa internacional con el fin de lograr un cálculo estandarizado para los recintos. Según el estándar internacional ASHRAE 55-2013 la temperatura media radiante se define de la siguiente manera. "la temperatura de un recinto uniforme y negro que intercambia la misma cantidad de calor por radiación con el ocupante que el recinto real. Es un valor único para todo el cuerpo expresado como un promedio espacial de la temperatura de las superficies que rodean al ocupante ponderado por sus factores de visión con respecto al ocupante." (Engineers American Society of Heating, 2013, p. 6)

También existe la variable de temperatura media operativa, siendo fundamental en post de un bienestar térmico, para esto se requiere entender el significado de la temperatura operativa, la cual hace referencia a la temperatura del aire existente en un recinto y la relación con la transferencia térmica del ocupante con el recinto ocupado, por lo que este factor mide en otras palabras la temperatura de un recinto en la que el cuerpo humano elimina temperatura, ya sea por convección o radiación para garantizar así un bienestar térmico dentro de un espacio habitable.

Según se define en el estándar internacional ASHRAE 55-2013 "la temperatura uniforme de un recinto negro imaginario y el aire dentro del mismo en el que un ocupante intercambiará la misma cantidad de calor por radiación más convección que en el ambiente no uniforme real" (Engineers American Society of Heating, 2013). Pero varios son los autores de relevancia internacional que hablan y definen la temperatura operativa debido a su gran relevancia para la generación de estudios y comprensión del confort térmico, como es la siguiente definición "La temperatura uniforme de un recinto en el que un ocupante intercambiará la misma cantidad de calor por radiación más convección que en el entorno no uniforme existente."(Fanger et al., 1985, p. 226).

Hoy en día existen equipos capaces de obtener de manera directa la temperatura operativa, estos deben tener como característica especial que su coeficiente de perdida por convección y radiación sea el mismo que el de una persona, y este equipo se le conoce como "transductor de temperatura operativa (to)"(Olesen, n.d., p. 6). Si este no es el caso, existen otras formas de calcular la temperatura operativa, para las cuales se requieren que seamos capaces de obtener temperatura del ambiente (ta) y la temperatura globo (tg) la cual mide el índice del globo húmedo para el estrés térmico, para así, a través de estas variables calcular las perdidas por convección mediante fórmulas y así tener todas las variables de cálculo de la temperatura operativa.

El cálculo del confort térmico requiere de la monitorización de una o más variables en función al modelo de confort térmico que se esté usando para evaluar térmicamente el ambiente. Por ello se ha explicado las variables que pueden intervenir en el cálculo y las cuales pueden requerir sus monitorizaciones para definir el nivel de confort térmico del espacio.

4.2.1 NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación

El método Fanger para la evaluación de confort térmico es uno de los sistemas bajo los cuales se basan gran cantidad de normativas internacionales aprobadas por organismos internacionales como el CEN (Comité Europeo Normativo), dado que este método establece sistemas de evaluación mediante índices de valoración de rangos de confort.

Como se menciona en las guías de buenas prácticas de la NTP realizada por el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, la metodología propuesta por Fanger resulta llamativa por incluir en sus consideraciones variables del ambiente industrial, intensidad de trabajo entre otros factores, lo que hace que la metodología desarrollada por Fanger sea de gran versatilidad en su aplicabilidad, siendo su campo tanto sectores residenciales como también puede serlo ambientes industriales o ámbitos de oficina.(Castejón, 1983, p. 5)

Según la metodología propuesta por Fanger, para entender a cabalidad los ambientes térmicos debemos definir en que estados se encuentran esto, para lo cual desarrolla categorías de confort térmico basado en un total de 7 niveles de categoría, estando como punto neutro el estado de confort y siendo tres categorías sobre este estado y tres categorías bajo este estado como se muestra a continuación.

“Para estudiar la calificación que grupos de personas expuestas a una determinada situación atribuyen a su grado de confort, Fanger emplea la siguiente escala numérica de sensaciones:

- 3 muy frío

- 2 frío

- 1 ligeramente frío

0 neutro (confortable)

+ 1 ligeramente caluroso

+2 caluroso

+3 muy caluroso

Cuando un conjunto de individuos es expuesto a una determinada situación denominaremos Voto Medio Previsto (PMV) al promedio de las respectivas calificaciones atribuidas a dicha situación 'de acuerdo con la escala anterior.” (Castejón, 1983, p. 2).

El método Fanger propone que, para tener una evaluación completa de los recintos, hay que considerar que estos datos fueron en base a una investigación en la cual se expuso a las personas a un ambiente determinado por un periodo de tiempo controlado, por lo que siempre existe un porcentaje de personas que resultaran insatisfechos. Por lo tanto, como se entenderá en el siguiente gráfico, el porcentaje de insatisfechos nunca será inferior al 5%, aunque el PMV sea igual a cero.

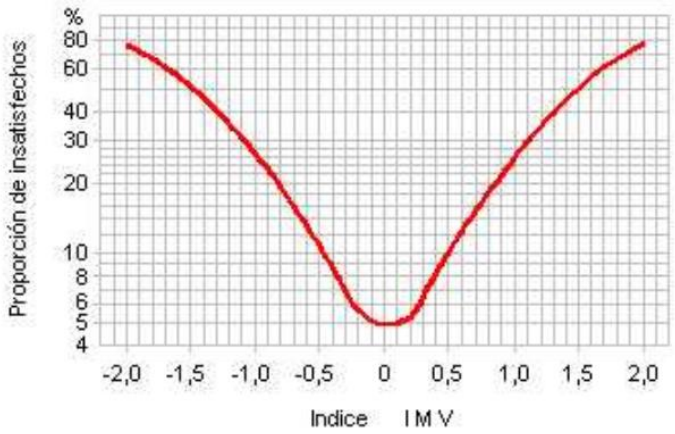


Figura 4.3: Proporción prevista de personas insatisfechas en función del valor del índice PMV.

Fuente: P.O. Fanger

4.2.2 NORMATIVA INTERNACIONAL UNE-EN ISO 15251

Dentro de las normativas internacionales estudiadas para la realización del trabajo, se encuentra la normativa internacional Ashrae, la cual ya ha sido mencionada anteriormente. Esta normativa al igual que otros estándares, se divide en diferentes apéndices referentes a eficiencia energética, pasando desde el cálculo de confort térmico, hasta cómo utilizar los instrumentos para definir una metodología de trabajo. Ejemplo de esto son las normativas que se utilizan en conjunto a la normativa UNE EN 15251 como la ISSO 7730, en este último se define la altura de los aparatos de medición dentro de un espacio, el distanciamiento de los aparatos respecto a los ventanales del recinto y respecto a la altura de ocupación del espacio. Esto hace que seamos capaces de definir también parámetro para medir recintos muy diferentes bajo el mismo criterio, elemento que se traduce luego en la obtención de resultados, que en el caso de confort térmico como se define en la normativa internacional UNE-EN ISO 15251, con el fin de definir los rangos de confort térmico.

Para el marco normativo de la UNE-EN ISO 15251 desarrollada por el CEN (Comité Europeo Normativo), la cual existe en tres idiomas oficiales, alemán, francés e inglés, El objetivo de crear la Presente Normativa es establecer parámetros para las mediciones de los recintos interiores de los diferentes tipos de edificios, como se menciona en la normativa. “Esta norma específica como pueden establecerse y utilizarse los criterios de diseño para el dimensionamiento de los sistemas. Esta norma define como establecer y definir los principales parámetros para usarse como datos de partida para el cálculo energético del edificio y para la evaluación a largo plazo del ambiente interior. Finalmente esta norma identificar los criterios que se usarán para monitorizar y mostrar el ambiente interior, según se recomienda en la Directiva relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios.”(CEN, 2008, p. 7).

De esta manera la normativa específica varias categorías de ambiente interior, mediante las cuales podemos realizar mediciones en periodos de tiempo definidos y clasificar las edificaciones, analizando en cuál de ellas se mantiene por mayor cantidad de tiempo, todo esto con el fin de mejorar la salud, bienestar y productividad de los ocupantes.

Si bien como ya se ha mencionado la normativa UNE-EN ISO 15251, es factible vincularla con otras normativas desarrolladas con la EPBD (Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios) de la CEN, ya que mediante la vinculación somos capaces de nutrir el conocimiento obtenido y complementar las diferentes normativas como se muestra en el siguiente diagrama.

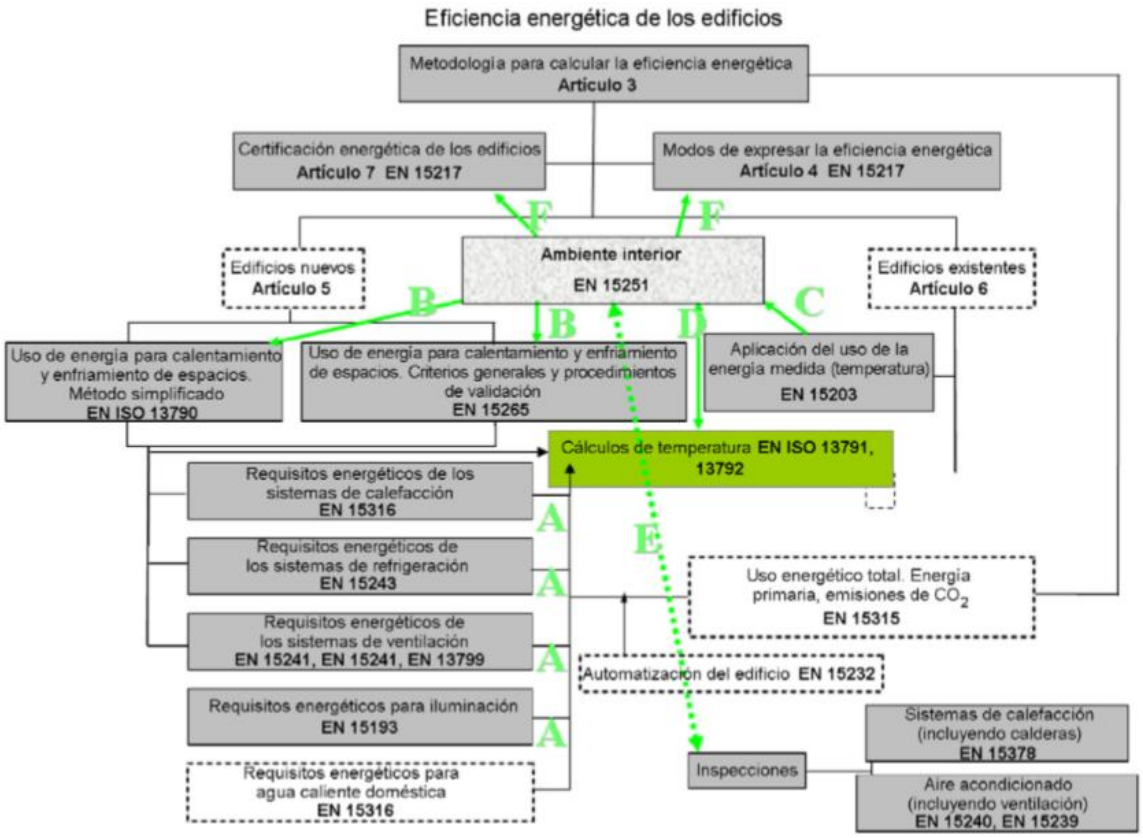


Figura 4.4: Relación entre la normativa UNE-EN ISO 15251 y normativas desarrolladas en la EPBD.

Fuente: UNE-EN ISO 15251

Se puede observar que mediante la relación de normativas, tal como se muestra en la Figura 4.4, somos capaces de entender con mayor profundidad los requisitos de las normativas mostradas, esto ya que en estos se encuentran las base bajo la cual se establecen los conceptos a utilizar en las mediciones normativas, por ejemplo las inspecciones, los usos de energías de calefacción y enfriamiento, debido a que entendemos de mejor manera el comportamiento térmico de un edificio, definiendo los parámetros de las temperaturas operativas que el recinto a evaluar posee.

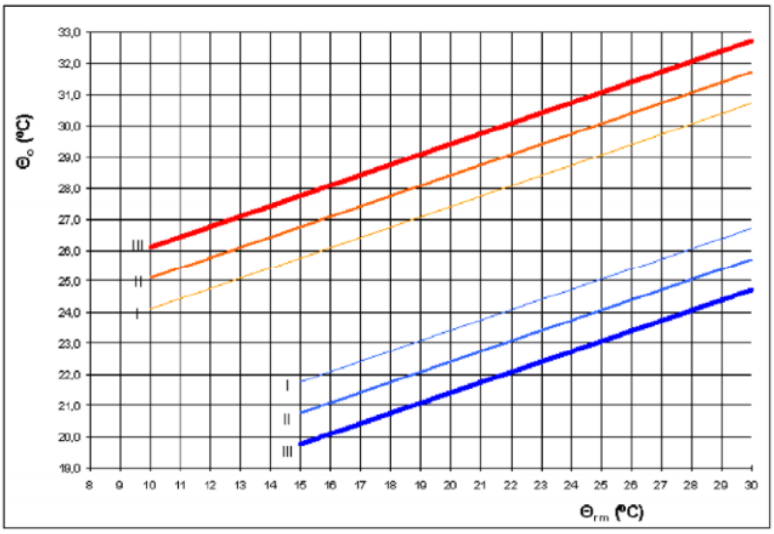
Para efectos prácticos, la normativa UNE-EN ISO 15251, establece parámetros para la medición de confort mediante el sistema de medición desarrollado por P.O. Fanger, el cual se ha descrito anteriormente, por lo cual es necesario considerar al igual que con el método expuesto un margen de error de los datos de aproximadamente 5% que es lo expuesto por el desarrollo practico de la investigación de Fanger. De esta manera podemos desarrollar estudios basados en normativa UNE-EN ISO 15251, para la obtención de confort de recintos.

Finalmente podemos decir que, para lograr verificar los estados de confort de las personas dentro de los recintos, como ya se ha mencionado, se establecen límites inferiores y limites superiores, dentro de los rangos de confort, obteniendo un gráfico como se muestra en la Figura 4.5, donde se muestran los rangos de aceptabilidad de confort de temperatura dependiendo el rango de temperatura exterior existente. Es decir que cuando en el exterior del recinto a evaluar de confort térmico existen 10°C el interior tiene un rango desde aproximadamente 17°C hasta 24°C aproximadamente para encontrarse en un rango de aceptabilidad de confort térmico dentro de un recinto.

El rango previamente señalado, será mayor en caso de que temperatura exterior se vea aumentada, dado que el rango de confort es directamente proporcional a la temperatura exterior por lo que si la temperatura exterior es baja el rango de confort aceptable para las personas en su interior también es baja, mientras que si la temperatura es alta el rango de confort en su interior también es mayor.

Tal como se muestra en la Figura 4.5 donde se muestra un rango de aceptabilidad de confort, este rango es existente para las diferentes normativas, donde la normativa Ashrae 55-2013 y la normativa UNE-EN ISSO 15251 poseen coincidencia en los rangos de evaluación. Dado que la normativa española muestra un rango de confort basado en método Fanger, donde las categorías parten desde el -3 a 0 y de 0 a +3 donde 0 corresponde al rango óptimo de confort, y la normativa internacional de la ASHRAE 55-2013 nos expone un rango de confort coincidente de -3 a 0 y de 0 a +3 donde 0 vuelve a ser el rango de confort óptimo.

Según la normativa UNE EN 15251 (CEN, 2008, p. 26) las temperaturas de funcionamiento que se presentan a continuación, son válidas para edificios de oficina y otros edificios de tipo similar utilizados para ocupación de personas con actividades sedentarias principalmente y viviendas, donde hay fácil acceso a ventanas operables y los ocupantes pueden adaptar libremente su vestimenta a las condiciones térmicas exteriores y/o interiores.



Leyenda
Θ_{rm} es la temperatura media exterior ºC
Θ_o es la temperatura operativa ºC

Figura 4.5: Valores de diseño de la temperatura operativa interior para edificios sin sistemas de enfriamiento mecánico en función de la temperatura exterior media ponderada exponencialmente. Fuente: UNE-EN 15251

Las ecuaciones representando las líneas en la figura 4.5 son:

Categoría I límite superior: Θi Max. = 0,33 Θrm + 18,8 + 2
límite inferior: Θi mín. = 0,33 Θrm + 18,8 - 2

Categoría II límite superior: Θi Max. = 0,33 Θrm + 18,8 + 3
límite inferior: Θi mín. = 0,33 Θrm + 18,8 - 3

Categoría III límite superior: Θi Max. = 0,33 Θrm + 18,8 + 4
límite inferior: Θi mín. = 0,33 Θrm + 18,8 - 4

donde

Θi es el valor límite de la temperatura operativa interior, °C

Θrm es la temperatura exterior promedio de funcionamiento. Estos límites se aplican cuando 10 < Θrm < 30 °C para límite superior y 15 < Θrm < 30 °C para límite inferior. Por encima de 25 °C los gráficos se basan en una base de datos limitada. (CEN, 2008, p. 27)

4.3 Monitorización.

La monitorización es un proceso de medición de variables, las cuales se encuentran relacionadas con el estudio a realizar. Por ejemplo, para la monitorización de confort térmico es necesario la

medición de una o varias variables ambientales para su evaluación en función al modelo de confort térmico que se desee usar.

La monitorización de los ambientes térmicos nació como una necesidad de controlar los espacios habitables y poder discernir estrategias de calefacción y refrigeración para estas. Es así como se puede evaluar in situ el funcionamiento de los sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración del recinto que se monitoriza pudiéndose ajustar de manera exacta a los requerimientos de confort.

La motorización ha abierto un sinfín de nuevas ramas dentro de esta tecnología como puede ser el uso de la monitorización remota para el control de recintos a distancia, y así poder domotizar recintos, realizando "construcciones inteligentes", capaces de discernir las mejores situaciones para los habitantes. Ejemplo de esto son las casas climatizadas remotamente, las cuales son capaces de programarse para cumplir con los estándares de confort para sus habitantes, esto solo es posible ya que las tecnologías de monitorización alimentan la base de datos que posee el recinto domotizado, ayudando a crear espacios óptimos. Este ejemplo señalado es solo uno de los logros que se pueden realizar mediante sistemas que monitorizan espacios. Ya que uno de los sistemas más utilizados es el uso de la monitorización para la creación de estudios de ambientes, este sistema de medición para la evaluación de espacios resulta la base de cualquier estudio posterior que se desee realizar mediante los sistemas de medición y procesamiento de los datos.

Existen diversos tipos de sensores, para las diferentes variables que se deseen analizar, sin embargo, estos sensores siempre se podrán catalogar en dos grandes géneros, los cuales son patentados y de código libre, este último en muchas ocasiones no se encuentran diseñados para funcionar bajo las normativas que rigen las mediciones que se desean realizar

4.3.1 Sensores

El término sensor, es quizás uno de los más escuchadas y utilizados en el momento de realizar una investigación científica en la cual se necesite medir datos para verificarlos, y es uno de los elementos de mayor relevancia al momento de realizar monitorizaciones en terreno, dado que son las herramientas que se utilizan para la obtención de los resultados.

Los sensores son definidos según la real academia española como "Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente". Sin embargo, hoy en día la existencia de diversos módulos de medición, aplicaciones y sensores, han complejizado la obtención de datos y han generado que se puedan obtener una mayor gama de datos aplicables como menciona el siguiente autor (MARTÍNEZ CASTRO, 2011, p. 10) en su tesis doctoral donde establece que lo que ha podido permitir el desarrollo de las redes inalámbricas de sensores y actuadores que permiten concebir nuevas aplicaciones poco viables anteriormente, es la propia naturaleza y complejidad de las aplicaciones de monitorización junto con la convergencia digital y su miniaturización.

Los sensores son parte fundamental al momento de realizar las mediciones ya que existe un sinfín de ellos y si bien existe una gran variedad, las características de sensores una misma variable pueden discernir mucho entre ellos, ya que pueden utilizar diferente tipo de almacenaje de dato, diferente programabilidad en sus usos, es decir programar cuanto tiempo medir, y cada cuanto

tiempo medir, sin embargo, uno de los factores más relevantes de estudiar al momento de la elección de los equipos de medición es la precisión que estos equipos dicen tener.

En la actualidad existen una amplia variedad de sensores, los cuales se pueden agrupar en dos grandes áreas, sensores con sistemas y aplicaciones que son de uso patentado, y sensores y aplicaciones de uso y código libre, estos últimos han generado una disminución en los costos de implementación debido a sus bajos precios a diferencia de los equipos patentados. Como se menciona en algunas investigaciones de (Faugel & Bobkov, 2013, p. 1277) donde explicitan que debido a la especificación precisa de los parámetros que afectan los entornos interiores regularmente se limita al uso de softwares y hardware patentados, lo que afecta de manera negativa los costos, la flexibilidad y la manera de integrar los datos de las investigaciones.

4.3.2 Sistemas Patentados

Los sistemas patentados, son aquellos desarrollados por empresas, que patentan sus sistemas de medición, por tanto, son los únicos capaces de modificar legalmente sus códigos fuentes. Esto hace que dichos sistemas sean más rígidos en sus mediciones, más difícil de integrar los datos obtenidos y que solo tengan las funciones para las cuales fueron programados. Un ejemplo de ello son los equipos de medición de temperatura, entre otros, los cuales vienen con programas (software) desarrollados por las empresas especialmente para recolectar los datos de los equipos (hardware) que desarrollan. Dichos equipos y programas patentados forman parte de un sistema patentado, el cual posee valores elevados debido a que muchos de estos equipos tienen homologación con sistemas internacionales de medición, normativas o estándares de medición, tales como la ASHRAE 55-2013 o ISSO 7723.

Quizás una de las características más importantes de los equipos de sistema patentado, es su costo en el mercado, ya que, si bien existe una gran gama al momento de elegir equipos, estos siempre estarán pensados para su lucro, por lo que los sistemas patentados suben sus valores debido a su sistema de mercado, en el cual se debe sostener en el mercado para proseguir con la fabricación de hardwares y softwares.

4.3.2.1 TECNOLOGIAS PATENTADAS PARA LA MEDICION DE CONFORT

En el presente apartado se pretende dar a conocer algunos de los equipos utilizados al momento de realizar mediciones de confort térmico en interior de recintos habitables e industriales, mostrando la versatilidad que estos pueden ofrecer, estableciendo como objeto de estudio principalmente el equipo utilizado en la presente investigación.

Cabe mencionar que, dentro de los equipos de tecnología patentada existen muchos equipos de medición con mayor o menor prestaciones, sin embargo, esto variara dependiendo las prestaciones que se buscan en cada equipo, dado que con medición de temperaturas operativas somos capaces de realizar estudios de confort según las normativas previamente mencionadas.

A continuación, se presentará el hardware utilizado en la presente investigación para realizar la comparación frente a equipos de código abierto.

El hardware utilizado es HOBO onset, el cual dentro de su funcionalidad se encuentra la medición de temperatura y humedad, la cual se puede configurar para medir en periodos de tiempo determinados, estos trabajan de manera localizada, esto significa que solo son capaces de medir el espacio en el cual se colocan de manera única, luego los datos obtenidos son descargados mediante softwares de la empresa, la cual entrega los datos en formato Excel y datos en formato proveniente del software.

Figura 4.7 : HOBO ONSET Data logger, medidor de temperatura y humedad

Fuente: http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012

Si bien el hardware de HOBO es un data logger (registrador de datos) de temperatura y humedad reconocido como un equipo de alta eficiencia, el cual está homologado ante normativas como dispositivo óptimo para realizar mediciones, no se encuentra exenta de errores o desviaciones en sus mediciones, las cuales, si bien corresponden a valores ínfimos, deben ser cuantificadas para su uso. De esta manera se procede a mostrar las características técnicas del dispositivo HOBO ONSET para un posterior análisis de estas características señaladas.

Rango de medición

Temperatura: -20° to 70°C (-4° to 158°F)

RH: 5% a 95% RH

Canales analógicos: 0 a 2.5 Vdc (w/CABLE-2.5-STEREO); 0 a 5 Vdc (w/CABLE-ADAP5); 0 a 10 Vdc (w/ CABLE-ADAP10); 4-20 mA (w/CABLE-4-20MA)

De esta manera tenemos un equipo capaz de medir situaciones industriales, dado que soporta un rango de temperaturas amplio, al igual que un alto espectro de humedad dentro de sus mediciones. Por otro lado, tenemos diferentes canales analógicos, lo que hace que las mediciones tengan mayor precisión que los canales digitales.

A continuación, se presentará quizás una de las características más importantes al momento de discernir entre las tecnologías, ya que esto nos definirá el uso para el cual se destinará el equipo.

Precisión

Temperatura: ± 0.35°C de 0° a 50°C (± 0.63°F de 32° a 122°F)

RH: ± 2.5% de 10% a 90% RH típicamente, a un máximo de ±3.5% incluyendo histéresis a 25 ° C (77 ° F); por debajo del 10% y por encima del 90% ± 5% típico

Canal de entrada externo (ver manual del sensor): ± 2 mV ± 2.5% de lectura absoluta

Frecuencia de muestreo: 1 segundo a 18 horas, seleccionable por el usuario

Se nos presenta una tecnología de alta precisión, la cual posee un rango amplio para la obtención de muestreo, sin embargo, limitada dentro de sus funciones, dado que el modelo presentado solo es capaz de realizar mediciones de temperatura con un margen de error considerable dependiendo la investigación y mediciones de temperatura únicamente con valores absolutos. Por lo cual la precisión del resultado si bien genérica, resulta ser una precisión considerable para realizar estudios verídicos sobre la realidad de los espacios, además cabe considerar que el hardware presentado, cuenta con homologación a normativas internacionales, por lo cual esta abalado para la realización de estudios.

Sin embargo, cabe considerar que el hardware hobo onset, resulta ser uno de los equipos económicos de medición, con un valor acotado que no supera los 315 USD en sus modelos más básicos, lo que lo hace una de las alternativas viables dentro del espectro de equipos patentados para la realización de mediciones homologables a normativas internacionales. Sin embargo, no se debe olvidar que cada Hobo Onset solo es capaz de medir un único ambiente, por lo que si se requiere medir espacios múltiples de manera simultánea el precio se ve aumentado al doble o más, dependiendo de la cantidad de mediciones simultaneas se requieran.

Sin Embargo, existen equipos que superan ampliamente el valor de los hardware de Hobo, y quizás uno de los más conocidos dentro de las mediciones mediante equipos patentados homologados a normativas internacionales es el DeltaOhm HD32.2 WBGT, el cual tiene un precio de 2850 USD aproximadamente, y al igual que el equipo del Hobo Onset, solo es capaz de medir un espacio. Ya que para lograr medir de manera simultánea más recintos se requerirá la adquisición de más de estos equipos. Sin embargo, este equipo posee una precisión dentro de sus mediciones mayor al hardware de Hobo, y es capaz de realizar mediciones de variables que el equipo previamente mencionado no es capaz, y además tiene como característica la posibilidad de adicionarse a este equipo aparte de sus funciones básicas, algunos accesorios definidos por la empresa que desarrollo el hardware y software. Lo mencionado previamente posee el fin de aumentar la cantidad de variables que puede medir, por lo que lo vuelve dentro del mercado una opción versátil a un alto costo monetario.

Si bien existen más equipos que los ya mencionados, estos dos sistemas resultan icónicos, y resultan ejemplificadores del rango máximo y mínimo en el cual se mueven, por lo que bien al comprarlos, obtendremos hardwares y softwares comprobados y pensados para considerar dentro de sus mediciones la aplicabilidad ante diferentes estándares y normativas internacionales de medición de confort. Sin embargo, estos resultan tener un costo elevado al momento de considerarse para una investigación en la cual se requiera una gran cantidad de datos múltiples. Por lo que resulta imposible la masificación de estos equipos con fines investigativos, o con fines de poder masificarlos a un público de bajos recursos que requiera conocer las condiciones de habitabilidad de sus recintos, con el fin último de tomar medidas que sirvan para la reducción de su consumo energético.

4.3.3 Sistemas de código libre

Los sistemas de código libre, también conocidos en inglés como “Open Sources”, son aquellos sistemas que son de libre acceso para todas las personas y es posible encontrar la programación fuente de estos softwares y hardwares de manera gratuita en internet o fuentes de libros.

Existen diversos sistemas de código libre que sirven para generar diversos sistemas entre ellos los más conocidos se encuentra “ARDUINO” “(…)El chip Arduino funciona como un controlador para gestionar el orden secuencial y el flujo de información dentro de los dispositivos finales (sensores).”(Li et al., 2018, p. 139)

La principal desventaja al momento de hablar de sistemas de código abierto o código libre (OSBSS) es que estos sistemas en la actualidad no se encuentran homologados a ninguna normativa o estándar de medición internacional, por lo que el realizar estudios con estos sistemas requiere una validación de datos de manera previa, ya sea por estudios realizados o que el equipo realice una validación de datos.

4.3.3.1 Arduino

Dentro de los diversos Hardwares existentes de código abierto quizás el más utilizado debido a sus bajos costos y su gran versatilidad es el equipo llamado Arduino, el cual fue creado en Ivrea Interaction Design Institute como una herramienta fácil para el prototipado rápido.

Los creadores del hardware definen dicho equipo como (…) una plataforma de electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida, activar un motor, encender un LED y publicar algo en línea. Puede decirle a su tablero qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador en el tablero. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en el cableado) y el software Arduino (IDE), basado en el procesamiento.

El sistema de trabajo de Arduino se realiza mediante una plataforma de programación de código abierto llamado Arduino IDE, la cual se encuentra disponible para su descarga en la página web de

la plataforma, que se encuentra en el siguiente enlace - https://www.arduino.cc/en/Main/Software.

Este ambiente de programación se encuentra disponible de manera gratuita y existen diversas comunidades de la plataforma que crean contenido activo para la utilización de cualquier usuario del hardware. Mediante el software es posible desarrollar el sketch o rutina que será cargada en la memoria de Arduino, la cual si bien es limitada ofrece gran versatilidad ya que ofrece la opción de agregarle las entradas que se necesiten como lo es entradas de memoria micro sd además de diversos sensores o motores.

Pero en palabras más simples Arduino en una placa microcontroladora que sirve para elaborar proyectos tanto de prototipo como proyectos finales, existen diversos tipos de placas microcontroladoras. Sin embargo, la plataforma de Arduino se ha posicionado dentro del mercado como una de las más populares dentro de los usuarios, esto debido a que la plataforma de Arduino cuenta con una amplia comunidad activa, la cual es capaz de proporcionar información rápida gratuita y certera sobre las dudas que puedan surgir.

Otra razón de su masificación dentro de los micro controladores es la variedad de Arduinos existentes, los cuales son diseñados de manera diferente dependiendo las necesidades de los proyectos, todos estos factores sumado a su bajo costo ha hecho que las placas de microcontroladores de Arduino se posicione como una de las opciones más apetecidas dentro de las personas que entienden en el tema y las personas que están recién iniciándose.

Para efectos prácticos los microcontroladores, se encuentran limitados hoy en día por el conocimiento que tenemos de estos mismos, ya que en la actualidad los desarrolladores de prototipos con microcontroladores, son capaces de desarrollar todo tipo de proyectos con las placas de prototipado, siempre y cuando seamos conscientes de los conocimientos previos de lo que se desea desarrollar. Ejemplo de esto se puede observar en el área de la medicina, ya que recientemente se han desarrollados numerosos proyectos en los cuales, mediante el desarrollo de un equipo multidisciplinario, en el cual mediante la participación médicos neurólogos, ingenieros y programadores se han elaborado proyectos de movimientos robóticos mediante las conexiones neuronales. Esto muestra que hoy más que nunca el desarrollo de proyectos multidisciplinarios es de vital importancia para comprender las limitaciones que tienen las tecnologías que se desarrollan.

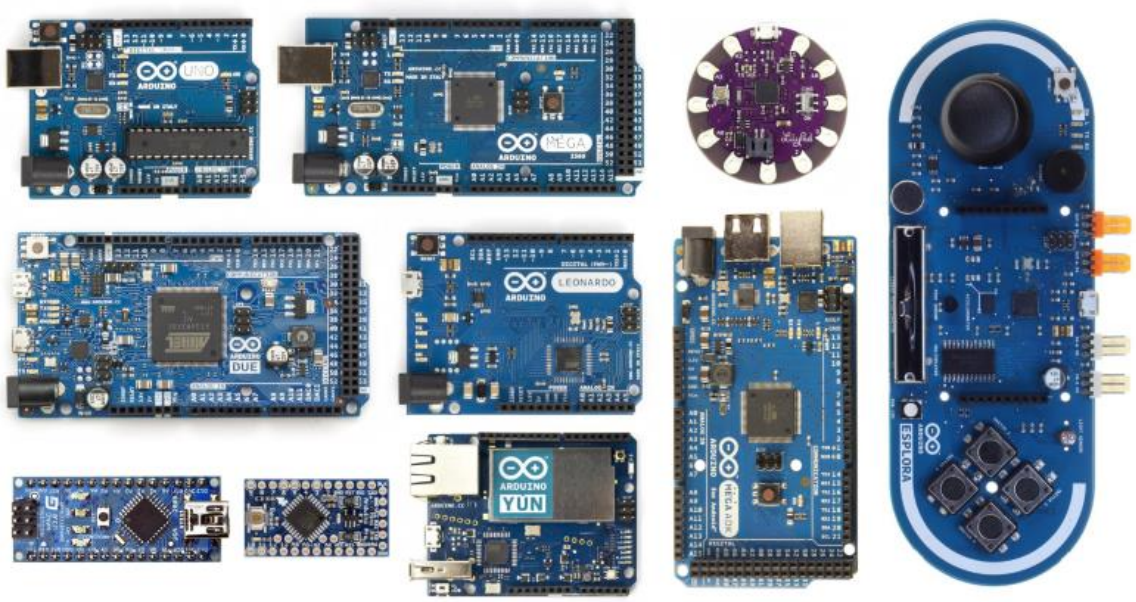


Figura 4.8 : Imagen mostrando los diversos tipos de Arduinos Existentes.

Fuente: https://arduinoespblog.wordpress.com/2016/03/02/como-elegir-una-placa-arduino/

Sin embargo, cabe mencionar que, del espectro total de microcontroladores, existen diferentes gamas, ya que esto dependerá del tipo de proyecto a desarrollar e inclusive del espacio que se disponga para desarrollar el proyecto, un claro ejemplo de esto es el desarrollo de placas Arduino Nano el cual fue pensado para desarrollar una mayor cantidad de prestaciones en un espacio reducido. Por lo que se sacrificaran elementos tales como la memoria interna de la placa, como también la velocidad de ejecución de códigos de la misma, esto versus micro controladores como Arduino ATMEGA 2560, el cual es uno de los Arduinos más grandes del mercado, esto debido a que cuenta con casi cinco veces más de conexiones disponibles directas que un Arduino nano y cuenta con una capacidad de almacenaje mayor y de procesador correspondiente a su memoria.

A continuación, se presentan los diferentes tipos de placas, con las prestaciones que posee cada una de ellas.

Fabricante	Arduino	Arduino	Arduino	Arduino	Arduino	Arduino	Arduino	Netduino	Texas Instruments	Fundación Raspberry Pi
Modelo	Pro Mini	Nano	Uno	Mega / Mega 2560	Leonardo	Micro	Due	Netduino 2	Stellaris Launchpad LM4F120	Raspberry Pi Mod.B
Microcontrolador	AVR Atmega 168 ó 328 8bits	AVR ATmega 168 ó 328 8bits	AVR ATmega 328 8bits	AVR ATmega2560 8bits	AVR ATmega 32u4 8bits	AVR ATmega 32u4 8bits	ARM SAM3X8E Cortex-M3 32bits	ARM STMicro STM32F2 Cortex-M3 32bits	ARM LM4F120H5QR Cortex-M4 32bits	ARM Broadcom BCM2835
Frecuencia	16Mhz	16Mhz	16Mhz	16Mhz	16Mhz	16Mhz	84Mhz	120Mhz	80Mhz	700Mhz
Memoria RAM	2KiB	2KiB	2KiB	8KiB	2.5KiB	2.5KiB	96KiB (64+32KiB)	60KiB	32KiB	512MiB
Memoria EEPROM	1KiB	1KiB	1KiB	4KiB	1KiB	1KiB	0	0	-	-
Memoria FLASH	16 ó 32KiB	16 ó 32KiB	32KiB	128 ó 256KiB	32KiB	32KiB	512KiB	192KiB	256KiB	-
Pines digitales entradas/salidas	14/14	14/14	14/14	54/54	20/20	20/20	54/54	20/20	43/43	8/8
Tensión/corriente pines digitales	3.3v ó 5v 40mA	5v 40mA	5v 40mA	5v 40mA	5v 40mA	5v 40mA	3.3v 3~15mA (130mA entre todos)	3.3v~5v 25mA (125mA entre todos)	5v	-
Pines analógicos entradas/salidas	6/0	8/0	6/0	16/0	12/0	12/0	12/2	6/0	-	-
Tensión/resolución pines analógicos	3.3v ó 5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	5v 10bits (1024 valores)	3.3v 12bits (4096 valores)	5v 12bits (4096 valores)	-	-
Pines con interrupción externa	2	2	2	6	2	2	-	-	-	-
Pines PWM	6	6	6	15	7	7	12	6	-	-
Conexiones Serial / UART	1	1	1	4	1	1	4	4	8	Si
Conexiones I2C / TWI	1	1	1	1	1	1	2	1	4	Si
Conexiones ISP / ICSP	1	1	1	1	1	1	1	1	-	Si
Conexión USB	No (necesita adaptador externo)	Si	Si, USB-B	Si, USB-B	Si, Nativa, MicroUSB	Si, Nativa, MicroUSB	Si, Nativa, MicroUSB	Si, Nativa, MicroUSB	Si, Nativa, MicroUSB	Si, MicroUSB
Conexión USB de depuración	No	No	No	No	No	No	Si, MicroUSB	Si, MicroUSB	Si, MicroUSB	-
Conexión Bluetooth	No	No	No	No	No	No	No	No	No	-
Conexión WiFi	No	No	No	No	No	No	No	No	No	-
Conexión Ethernet	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Si
Conexión USB Host	No	No	No	No	No	No	Si	No	Si	Si
Almacenamiento por SD	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Si
Corriente en el pin de 5v	-	500mA	500~800mA	500~800mA	500~800 mA	500mA	800mA	-	-	-
Corriente en el pin de 3.3v	-	50mA	50mA	50mA	50mA	50mA	800mA	-	-	-
Voltaje de alimentación por el USB	3.3v ó 5v (sin usb)	5v	5v	5v	5v	5v	5v	5v	5v	5v
Voltaje de alimentación recomendado por el Jack	3.35 -12 V (modelo 3.3V) ó 5 - 12 V (modelo 5V)	7~12v	7~12v	7~12v	7~12v	7~12v	7~12v	7.5~9v	-	-
Voltaje de alimentación limite por el Jack	-	6~20v	6~20v	6~20v	6~20v	6~20v	6~20v	-	-	-
Precio oficial	15+gi	-	20€+gi	40€+gi	18€+gi	18€+gi	39€+gi	~35$+gi	13$+gi	~43$+gi
Precio BBB	~4€	~9€	~10€	~12€	11€~	~16€	~38€	25~30€	~15€	~35€

Figura 4.9 : características de los diversos tipos de Microcontroladores Existentes.

Fuente: https://arduinoespblog.wordpress.com/2016/03/02/como-elegir-una-placa-arduino/

Al verificar la información señalada, somos capaces de a simple vista entender que los microcontroladores, poseen características únicas dependiendo de su forma y bajo esto podemos entender su funcionalidad y sus capacidades básicas, lo cual nos proporciona una información aproximada del gasto que podemos tener al realizar un prototipado, sin embargo, el costo siempre tiende a ser inferior al costo generado por el uso de tecnologías patentadas, esto genera un gran atractivo en la plataforma, y nos vuelve espectadores de cambios en la tecnología, ya que esta tecnología se nutre de los comentarios y los desarrollos que tenga la gente la cual se comunica de manera abierta mediante el foro oficial de la plataforma, desarrollando cambios rápidos en las placas microcontroladoras, factor fundamental por el cual existen miles de proyectos y la diversidad de su aplicación se vuelve un elemento único a las tecnologías de código abierto.

Si bien las tecnologías patentadas dominan el mercado tecnológico, las plataformas de código abierto como es el caso de las placas mencionadas están tomando un rol fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías a bajo costo y de gran precisión, lo que genera un movimiento acelerado del desarrollo de tecnologías patentadas, las cuales se ven presionadas por el desarrollo de las nuevas tecnologías de código libre.

4.3.3.2 Arduino y su mecanización.

Tal como se ha mencionado en este capítulo, la plataforma de Arduino resulta una plataforma versátil por su capacidad de prototipado, su funcionamiento de tipo mecano hace que la fabricación de nuevos prototipos se facilite.

Arduino posee un sistema de placa previamente mencionado, el cual para realizar diversos funcionamientos requiere de diferentes elementos que se irán añadiendo a su forma base de placa, llegando a proyectos complejos limitados por el conocimiento del desarrollador en los temas investigados, ya que al ser una placa versátil de conexión electrónica, la ausencia de elementos en el mercado como sensores u otros no resulta un elemento limitante si se poseen los conocimientos, ya que es de fácil conexión con elementos que no necesariamente fueron diseñados para trabajar con el hardware de Arduino.

Cabe señalar que su mecanización base siempre se realizara mediante los voltajes que nos ofrece el hardware los cuales suelen ser conexiones de 3volts o 5volts, y la cantidad de puertos analógicos y digitales que la placa seleccionada nos ofrezca (ver figura 4.9), también un elemento que puede frenar los prototipados base son la cantidad de puertos a tierra que las placas nos ofrezcan. Sin embargo, todo lo previamente señalado resulta una limitante en proyectos base, esto debido a que la plataforma nos ofrece un sinfín de soluciones para romper estas limitantes y poder controlar por ejemplo sistemas que requieran un voltaje muy superior al ya previamente mencionado, de esta manera es posible por ejemplo mediante la utilización de relés el manejo de sistemas de iluminación de edificios, o el control de equipos de climatización de recintos habitables, entre un sinfín de elementos.

Finalmente se debe considerar que la mecanización de Arduino es la manera de generar proyectos de prototipados, y que esto generara gastos mayores dependiendo el tipo de proyecto a ejecutar y el tamaño de este, ya que se debe entender que el costo de los elementos siempre serán costos extra a Arduino y no son necesariamente costos que solo Arduino tiene, en este sentido muchos de los aditamentos que se le realizaran a la placa de Arduino.

son compatibles con diferentes sistemas, inclusive sistemas como ordenadores, ya que se debe considerar que los elementos añadidos a Arduino poseen una lógica electrónica, por lo que sus conexiones no son diferentes a las que puede tener un ordenador, es por esto que también existen sistemas de placa como raspberry o computadores de marcas conocidas que son capaces de alimentar los sistemas que utiliza Arduino, sin embargo la gran diferencia entre Arduino y los demás sistemas radica en los costos y la versatilidad que nos puede ofrecer la placa de Arduino, esto ya que el hardware de Arduino elimina todos los aditamentos posibles incluyendo sistemas operativos, lo que vuelve al sistema en sistema 100% programable creando de esta manera que todo sea en torno a la programación que se incluya en el proyecto.

4.3.4 Normativas internacionales para la monitorización

A nivel internacional existen numerosas normativas y estándares que rigen las condiciones de confort, existen protocolos de medición que definen los parámetros a medir dentro del espectro total de variables existentes para tener condiciones ideales de habitabilidad de los espacios.

Dentro de las normativas que en el presente trabajo se hablaran está el estándar de la Ashrae 55-2013, la cual dice que "El propósito de esta norma es especificar la combinación de factores ambientales personales de interiores y factores personales que producirán condiciones ambientales térmicas aceptables para la mayoría de los ocupantes dentro del espacio."(Olesen, n.d., p. 1)

Las normativas internacionales somos capaces de definen los requisitos de monitorización, siendo la Ashrae la normativa más conocida a nivel internacional, la cual posee apéndices dedicados a la normalización de los sistemas de medición, definiendo alturas a las cuales deben colocarse los sensores, define tiempos de medición y cómo definir los lugares en los cuales se realizarán, para de esta manera establecer un escenario de medición.

Sin embargo, existen más normativas internacionales, dentro de las más conocidas se encuentra la normativa española desarrollada por el comité europeo normativo, la UNE-EN ISO 15251, en la cual al igual que la normativa Ashrae, se definen parámetros de medición para la evaluación de recintos, elaborando categorías de rangos de confort, estos rangos, se diferencian de la normativa previamente mencionada, ya que ambas poseen diferente cantidad de rangos para catalogar las edificaciones. De esta forma si bien ambas apuntan a catalogar el estado de una edificación, estas de por si no son del todo compatibles, y se debe discernir bajo cual normativa se procederá a elaborar estudios de confort.

En la normativa UNE-EN ISO 15251 se hace mención que una de las razones para la utilización de la normativa, corresponde a poder desarrollar el correcto dimensionamiento de los equipos de la construcción, es decir poder dimensionar de manera más exacta a las necesidades de las personas que habitan los recintos el dimensionamiento de los equipos de climatización. Si bien en su base de desarrollo posee el fin ya mencionado, estas normativas ya mencionadas, son capaces de ser la base de estudios más diversos, como se realiza en la presente tesis, ya que, al establecer categorías de medición, podemos ser capaces de catalogar nuestros instrumentos de medición y estableces si estos son capaces de entregarnos datos que bajo una mirada normativa resulten de utilidad.

Capítulo 5. Elementos empleados en la investigación

La investigación requiere la utilización de softwares y hardwares de uso patentado, y requiere la utilización de sistemas open sources (código libre). Esto con el fin último de ser capaces de validar mediciones que se obtengan con los sistemas de código abierto junto con las obtenidas con los sistemas patentados frente a las exigencias que poseen las normativas internacionales previamente mencionadas.

5.1 Mediciones con sistemas de código libre

La presente investigación realiza mediciones a través de sistemas de código libre mediante la utilización de la placa Arduino modelo Uno, el cual se conectará con sensores HDC 1080 de conexión analógica y digital, para la medición de recintos interiores y exteriores.

La conexión eléctrica del circuito se realizará mediante enlazas a corriente de 5volts emitidos por la placa Arduino uno con conexión en paralelo, Si bien el sistema de Arduino no es capaz de almacenar datos, esto se logrará empleando el micro procesador de Raspberry Pi3 modelo B+, el cual almacenará en lenguaje ".TXT" (formato de texto) el cual posteriormente será procesado en formato Excel para la comparación de datos con los obtenidos con el sistema patentado.

Figura 5.1: Placa Arduino modelo UNO.

Fuente: www.mcielectronics.cl

Figura 5.2: Sensor HDC 1080 para Arduino.

Fuente: www.mcielectronics.cl

Como se observa en las figuras 5.1 y 5.2, ambas figuras muestran los circuitos de código libre los cuales vienen en formato de placas, estas se abastecen de electricidad mediante corriente obtenida por cable USB conectada directamente a placa Arduino, de esta manera al realizar las conexiones con los sensores interior exterior HDC 1080 es posible realizar lecturas de temperatura y humedad con el sensor ilustrado.

Para la comprensión del sensor utilizado, se mostrarán las especificaciones técnicas del sensor utilizado.

Especificaciones:

- Precisión humedad relativa ±2% (típicamente)
- Precisión medición de temperatura ±0.2°C (típicamente)
- 14 Bit de resolución de medición
- Voltaje para uso de 2.7 V a 5.5 V
- Tamaño de sensor: 3.00 mm x 3.00 mm

En las especificaciones es posible verificar que se especifica un bajo fallo en mediciones de temperatura y humedad, además se muestra que el funcionamiento del sensor HDC-1080 trabaja a una alta emisión de información por segundo correspondiente a 14 bits, lo cual es superior al Sensor Hobo Onset el cual posee 12 bits de resolución de medición, también es posible ver que el funcionamiento del sensor es posible mediante corrientes bajas, lo que genera que sea posible realizas conexiones en todos los puertos de voltajes del hardware Arduino sin perder información y obteniendo la misma precisión especificada por el fabricante.

A modo de alcance cabe decir que existen dos métodos de conexión entre Arduino y los sensores o elementos externos a Arduino:

- La primera corresponde a la conexión directa entre Arduino y sensor mediante cables conectados sin intermediarios entre ambos, generando una conexión con bajas perdidas de informaciones y características enviables.

- La segunda corresponde a la conexión mediante circuitos, este método corresponde a una forma indirecta de conexión entre la plataforma Arduino y sus elementos adicionales, esta forma de conexión se puede realizar mediante cables directos al Hardware Arduino y posteriormente conectados a "protoboards" o placas especiales de cobre las que tendrán la función de repartir las cargas para poder conectar mayor cantidad de elementos a la placa microcontroladora, un ejemplo de esto es conectar una protoboard para poder repartir el voltaje que emite Arduino de 5v por lo que es posible conectar más cantidad de elementos a un voltaje de 5v. Sin embargo, este método puede producir demoras en los envíos de información lo que puede traducirse en la perdida de información o desfases en resultados.

A continuación, se expone el circuito de conexión entre sensor y Hardware Arduino, dado que en el proyecto un Hardware de Arduino obtuvo los datos de dos sensores HDC-1080 de manera simultánea, de esta manera los sensores fueron conectados a pines VCC correspondientes a pines de voltajes de 3.3 V. y 5 V. de manera directa con la placa microcontroladora, por lo que no existe retrasos en el envío del voltaje a los sensores, además se conectó de manera directa a la placa Arduino los cables GND correspondientes a cable de tierra señalados tanto en los sensores como en la placa microcontroladora, por último, los pines SCL y pin SDA correspondientes a envío de datos fueron conectados directamente con la placa microcontroladora en los respectivos pines analógicos y digitales.

Por otra parte, la placa de Arduino fue conectada como se mencionó anteriormente a una placa de código libre llamada Raspberry Pi3 Model B+, la cual funciono de base de datos, esta placa a diferencia de Arduino funciona con sistema operativo propio, por lo tanto, es considerado un micro computador. En este caso se utilizó el sistema operativo de Raspbian, el cual es el ofrecido por la empresa creadora de raspberry pi3 model B+, este sistema operativo se encuentra fundamentado en los sistemas operativos de Linux específicamente Linux Ubuntu, por lo cual la programación de la microcomputadora se realiza mediante comandos similares a los utilizados en el sistema operativo Linux Ubuntu.

Figura 5.3: microcomputador Raspberry pi model B+.

Fuente: http://old.bip.cl/ecommerce/index_2.php?modulo=busca&id_producto=21809#.WyXtSyen_IU

Como se puede observar la microcomputadora de Raspberry cuenta con pines al igual que la placa Arduino para generar proyectos de electrónica, elemento que genera una diferencia con las computadoras vendidas mayoritariamente en el mercado, las cuales al estar patentadas no liberan la opción a generar electrónica, dado que esto abre la posibilidad a la modificación del producto.

Sin embargo, la implementación de la micro computadora Raspberry pi3 modelo B+, no resulta un elemento fundamental de la investigación ya que solo fue utilizada como mecanismo receptor de información y no como elemento fundamental dentro de la investigación, de este modo es posible reemplazar el uso de la microcomputadora por el uso de un ordenador estándar, si solo si el ordenador es capaz de resistir uso continuo durante los periodos de medición y si posee espacio de almacenaje en el interior de su disco duro, es por esto que para la valoración económica este punto puede o no ser considerado.

5.2 Mediciones con sistemas patentados

La presente investigación realiza mediciones a través de sistemas patentados mediante la utilización del hardaware Hobo Onset, el cual luego de realizadas las mediciones se descargarán

sus datos en un ordenador mediante el software patentado de Hobo Onset, para la medición de recintos interiores y exteriores.

La obtención de los datos en el ordenador se realizará en formato ".csv" (formato de tabla) y en formato ". Hobo" (formato de tabla).

Figura 5.4: HOBO ONSET Data logger, medidor de temperatura y humedad

Fuente: http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012

5.3 Softwares utilizados

La presente investigación consta de la utilización del programa Excel como su programa fundamental para el procesamiento de los datos obtenidos mediante los hardwares, sin embargo, la tesis cuenta con diferentes softwares empleados en su proceso, los cuales se dividen en 3 grupos los cuales son: software de programación, en el cual será posible programar Arduino para su funcionamiento, software de recolección este será el software capaz de almacenar los datos que se obtengan, y software de procesamiento de dato.

En primer lugar, la configuración del hardware Arduino se debe realizar mediante el software gratuito que proporciona Arduino el cual se llama Arduino IDE, este programa funciona en base a códigos de lenguaje "C++" simplificado (C++ es un lenguaje de programación avanzado creado en 1979 y utilizado hoy en día por su versatilidad) para el uso de personas que no poseen conocimientos de programación, lo cual resulta un lenguaje amigable para toda persona que desee aprenderlo.

Figura 5.5: Programa Arduino IDE para Windows.

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.6: Programa Arduino IDE para Windows líneas de comando.

Fuente: Elaboración propia

La plataforma utilizada para la recolección de datos en el hardware Raspberry pi3 modelo B+ fue el software “Realterm Arduino”, la cual es capaz de almacenar los datos obtenidos por Arduino en formato de texto “.TXT”, sin la necesidad de contar con señal de wifi o micro SD para el almacenaje. De esta forma es posible mediante la configuración de Arduino traspasar los datos a programas de tabla como puede ser Excel u otros.

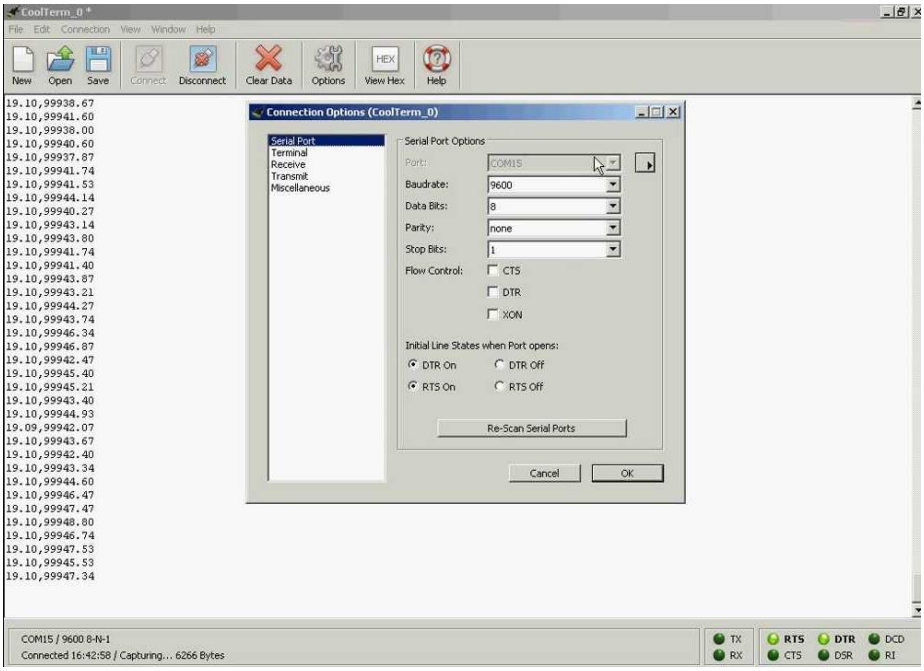


Figura 5.7: RealTerm para sistema operativo Raspbian.

Fuente: Elaboración propia

Una de las grandes ventajas del programa de uso libre RealTerm como método de obtención de datos es la disminución de costos de la investigación, ya que la no implementación de este programa significaría el uso de sistemas externos para poder almacenar los datos que se observan de Arduino.

Un punto poco mencionado dentro de la plataforma Arduino corresponde a su falta de potencial de almacenaje como elemento unitario, esto quiere decir que Arduino no posee capacidad de almacenar datos por si solo y requiere de más elementos para poder enviar los datos a un ordenador o página web.

De esta manera requerirá la utilización de lector de tarjetas micro SD o SD, si lo que se desea es la obtención directa de datos, por otro lado, es posible conectar la plataforma Arduino a páginas de internet que funcionen como base de datos capaces de almacenar y procesar los datos entregados por la plataforma Arduino. Para este método se requiere la implementación de sistemas como componente de WIFI, el cual requiere de programación y pines de conexión para la implementación, otro método es la utilización de un Shield de Ethernet compatible con modelo Arduino Uno, el cual se acopla directamente a la placa microcontroladora.

Sin embargo, los shields poseen un valor similar a la placa microcontroladora y requiere de programación, sin embargo, este método deja liberados todos los pines de conexión que posee Arduino por lo que resulta de fácil implementación más aditamentos en la placa microcontroladora, específicamente en la investigación, la conexión de sensores de temperatura y humedad.

Todo lo expuesto hace que la elección principal para la recolección de datos sea el uso de un programa externo a los creadores de Arduino, que sea capaz de almacenar los datos que este

arroje. RealTerm si bien es capaz de recibir datos del microcontrolador, al igual que lo hace la plataforma de programación Arduino IDE, posee el plus de poder almacenar los datos.

Capítulo 6. Implementación y resultados de investigación

6.1 Implementación de investigación

A continuación, se procede a explicar el método de implementación de los sistemas de medición, localidad, refiriendo a características básicas de su implementación.

La localidad escogida de implementación de medición corresponde a la ciudad de Santiago, comuna de la florida específicamente en un edificio con destino habitacional, la realización del estudio se realizó durante 15 días corridos obteniendo datos con separación de 1 minuto entre medición, la recolección se realizó entre los días 16/04/2018 hasta la fecha 01/05/2018 correspondientes a la estación de Otoño, obteniendo un total de 21698 datos por sensor referentes a temperatura y un total de 86792 datos entre todos los sensores.

La ubicación espacial escogida como recinto habitacional, corresponde a una casa de 1 piso, donde se procederá a realizar mediciones en la habitación de living, utilizando la metodología previamente descrita, de este modo se colocarán los sensores del modo tal que ninguno reciba luz directa sobre ellos, ya que esto puede dañar los equipos, dado que la temperatura puede aumentar drásticamente.

De este modo tal como se ha descrito en la metodología de la investigación, se procederá a evaluar el desempeño capaz de obtenerse mediante el uso de tecnologías de código abierto frente a las tecnologías de sistemas patentados, para esto se procederá a evaluar mediante la normativa UNE-EN, los rangos de confort, es decir se procederá a medir las horas dentro del rango de confort obtenidos con ambas tecnologías.

De esta manera se procederá a calcular la desviación entre dichos sistemas. Mediante esta metodología obtendremos el rendimiento general y sus diferencias generales, luego se procederá a evaluar el rango de desviación por sensor, para verificar sus rendimientos individuales, esto servirá para evaluar la posibilidad de poseer errores de medición o errores en sensores específicos, ya sean errores de fábrica o programación.

Dado que la investigación no está referida específicamente a medir los rangos de confort de una edificación, sino que principalmente está referida a la obtención de datos comparables entre ambas tecnologías, lo que nos propone un escenario en el cual se debe especificar que ambas tecnologías midieron en una igualdad de condiciones, se decide que la presente investigación no debe ahondar en la definición especifica de la localidad exacta de la medición, sino que más bien se debe especificar la ubicación de ambos sensores, es por esto que a continuación se muestra la ubicación de estos.

6.1.1 Sensor Interior

Los sensores interiores fueron colocados dentro del recinto habitacional, considerando factores normativos como altura de colocación de sensores y respetar que no reciban luz natural, sin embargo, por el uso del ambiente no fue posible colocarlo a 1mt de distancia de los muros y debieron ser colocados junto a estos.

Se considera para efectos prácticos la medición como un elemento de evaluación para la verificación de la efectividad del sistema de código abierto, como una alternativa plausible para la evaluación de ambientes mediante la normativa UNE-EN previamente especificada frente a la alternativa utilizada en la actualidad de sistemas patentados y no como una medición certera de la medición del mismo espacio, ya que se evaluara cuantas veces son coincidentes la medición de categoría de confort, de esta manera se podrá entender la eficacia frente a normativas internacionales como la UNE-EN.

Por otro lado, el sensor fue colocado a 1mt sobre el nivel de piso terminado, como se especifica en la presente normativa, dado que el ambiente es un ambiente donde la mayor cantidad de tiempo las personas que lo habitan se encuentran de pie desarrollando actividades.

6.1.2 Sensor Exterior

Los sensores exteriores por su parte fueron colocados al exterior del recinto habitacional, considerando fielmente los elementos normativos para estos, esto debido a que sirve a su vez como respuesta de seguridad frente al uso de los sensores y no sean dañados, es decir, los sensores fueron colocados a una altura similar en su lado exterior procurando que estos no reciban luz directa.

El recibimiento de luz directa en los sensores puede producir 2 efectos principalmente, el primero es el aumento des conmensurado de la temperatura medida a horas donde el sol puede llegar de manera directa, haciendo que las mediciones no representen una real característica ambiental, por otro lado, hacer que los sensores reciban luz directa puede generar algún daño en estos por exceso de calor en los equipos.

Es por esto que las mediciones se realizaron colocando los sensores al exterior del recinto de manera paralela a los colocados en el recinto interior y a una altura de 1.3 mt donde los sensores no recibieron luz directa.

6.1.3 Ambiente de estudio

La presente investigación como fue mencionada anteriormente, se realizó en una edificación de destino habitacional, la cual se encuentra en Santiago, Chile, esta cuenta con 120 mt2 repartidos entre los siguientes espacios: 3 dormitorios, 1 comedor, 1 living, 1 biblioteca, 1 cocina y 2 baños. La investigación se realizó en el ambiente mayormente habitado que corresponde al living, de esta manera es posible obtener una variedad de lecturas, poniendo a prueba la capacidad de variación de las temperaturas en el sistema realizado con código abierto

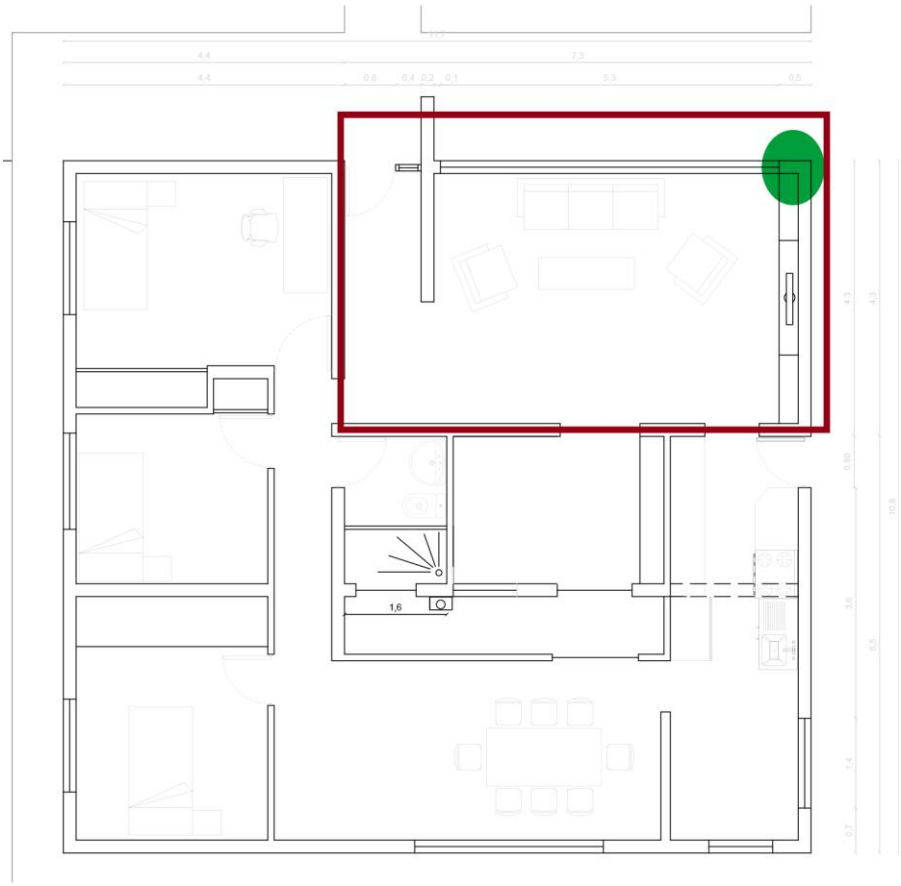


Figura 6.1: Plano de ubicación de sensores.

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la Figura 6.1, se puede observar la dimensión del recinto evaluado, donde se encuentra marcado con rojo (ambiente medido) , posee 31,39 mt2 aproximadamente, en este espacio se señala de color verde la localización tanto interior como exterior de los sensores, ubicando el Sensor Hobo Onset y el Sensor HDC1080 de Arduino de manera continua (ver anexo 1), de esta manera en su interior se pudo localizar en un sector completamente protegido de la luz directa como se hace mención anteriormente.

Por otra parte, se debe considerar abiertamente factores ya mencionados y especificados como la altura, la cual fue de 1mt en interior y 1,3mt en exterior, esto debido a que, si bien la investigación realiza mediciones de confort térmico para lograr ver la correlación de datos obtenidos entre los

sistemas evaluados, la investigación no posee como fin último la evaluación del dato individual de temperatura obtenido.

Por lo cual, si bien la investigación intenta respetar gran parte de los sistemas de medición impuestos por las normativas internacionales previamente mencionadas, solo fue posible cumplir las más relevantes de ellas, de modo de obtener resultados de confort térmico lo más apegado a la realidad.

6.2 Resultados de investigación

A continuación, se procederá a mostrar los resultados de la investigación, de manera resumida, dado que, por la magnitud de datos obtenidos, gran parte de ellos serán expuestos como anexos, para demostrar los resultados de confort obtenidos.

Como primer inciso cabe mencionar que la investigación que se presenta fue realizada mediante la medición de temperaturas, obteniendo mediante fórmulas el cálculo de confort térmico para recintos, de esta manera se requiere un mínimo de 7 días de medición para la obtención del cálculo de la temperatura media ponderada de funcionamiento, la cual es la temperatura equivalente a la temperatura media entre los 7 días previos.

Es decir que para poder calcular y realizar un estudio de confort térmico mediante este sistema es necesario un mínimo de 8 días de medición para la obtención de 1 resultado dado que solo es posible obtener los resultados consultando con los obtenidos durante 1 semana de medición.

Para la presente investigación se procedió a la configuración de una planilla Excel de medición en la cual se desarrolló el estudio mediante las categorías de confort del método Fanger utilizadas en la normativa UNE-EN1521, las cuales se muestran a continuación.

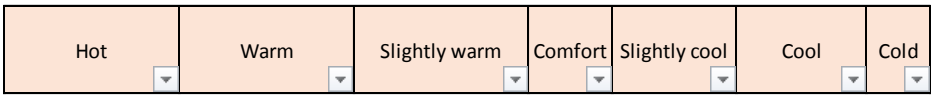


Figura 6.2: Categorías utilizadas en configuración Excel.

Fuente: Elaboración propia

De este modo la configuración de la hoja principal de la planilla utilizada corresponde a los datos más relevantes que podemos obtener para la medición de los espacios, como se muestra en la figura 6.2 donde se muestra como +4 Hot,+3warm, +2Slightly warm, como 1 Confort, -2 slightly cool, -3 cool y -4 cold, a modo de diferenciar la categoría confort al momento de realizar las comparaciones a diferencia de cómo se expresa en la normativa internacional que establece categorías del 1 al 3 en positivo y negativo siendo 0 la zona de confort, como se muestra a continuación

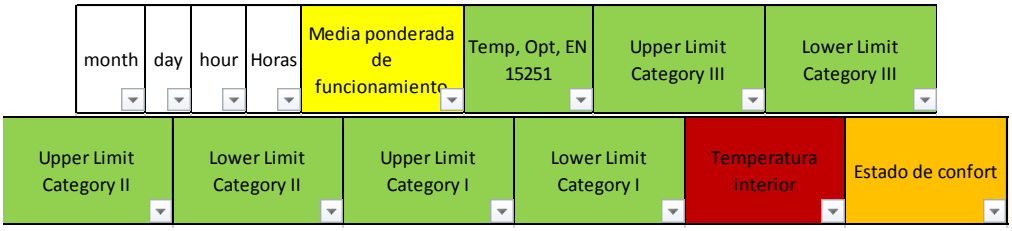


Figura 6.3: Configuración hoja principal planilla Excel utilizada.

Fuente: Elaboración propia

Tal y como se muestra en la figura 6.3, la planilla desarrollada para la investigación parte mostrando el día de evaluación especificando las horas correspondientes, luego se procede a mostrar la temperatura media ponderada de funcionamiento, la cuál es la obtenida mediante la media de los 7 días previos de medición.

Posteriormente en la planilla se procede a mostrar la temperatura óptima para el recinto interior evaluado correspondiente al día 8 de medición, ya que este valor solo se puede obtener al aplicar la siguiente formula sobre el factor de temperatura media ponderada de funcionamiento ($T^{o}mp$):

$$Temperatura\ optima\ UNE\text{-}EN15251 = 0.33\ x\ (T^{o}mp) + 18,8$$

Esta fórmula representa a la adaptación de la temperatura de confort térmico al interior del recinto analizado, en función de las temperaturas medias existentes en el exterior del recinto evaluado, es por esto que la temperatura optima es variable, ya que considera que a mayor temperatura exterior nuestra adaptabilidad a estas condiciones generan que nuestro rango de confort también se encuentre en una temperatura más alta, y al inverso, si en el exterior del recinto a analizar la temperatura es baja, la temperatura de confort térmico para las personas también será menor dada la adaptabilidad de las personas a su ambiente natural.

Luego se presentan en la planilla los rangos de temperatura superior inferior (+3, -3) correspondientes a las temperaturas más extremas dentro de la medición de confort, es decir las temperaturas más alejadas de este parámetro el límite superior e inferior +3 y -3 son posibles de calcular de la siguiente manera:

$$Calculo\ Categoría\ III = Temp.\ optima\ (+\ -)\ 4.$$

Mediante el cálculo ya mencionado es posible obtener las temperaturas límites de la categoría III, luego la planilla procede a mostrar los límites para la categoría II, es posible calcular las temperaturas límites para categoría II de la siguiente manera:

$$Calculo\ Categoría\ II = Temp.\ optima\ (+\ -)\ 3.$$

De esta forma se obtienen las temperaturas límites de las categorías ya mencionadas, la categoría I es posible calcularla de la siguiente manera:

$$Calculo\ Categoría\ I = Temp.\ optima\ (+\ -)\ 2.$$

Mediante las formulas ya mencionadas, somos capaces de obtener la temperatura media ponderada de funcionamiento, la cual resulta indispensable para el cálculo de la temperatura optima (fórmula válida para el cálculo de la temperatura optima en normativa UNE-EN-15251), la cual se basa en la temperatura mínima de confort más un porcentaje (33.3%) que se considera influencia del exterior correspondiente a la media de los 7 días previos. Obteniendo dicha temperatura optima recién seremos capaces de definir nuestros rangos de medición de temperatura utilizados en la presente investigación y en la cual nos basamos para la validación de los sistemas de código abierto.

Luego de lograr definir las variables a analizar y como se obtendrán, podremos diferenciar las temperaturas mediante sistemas patentados (HOBO) y sistemas de código libre (Arduino), para luego correlacionar los datos y obtener las desviaciones correspondientes al sistema de código libre respecto a los sistemas patentados, esperando obtener una desviación estándar igual o inferior al 5%

6.2.1 Desviación de las temperaturas exteriores y temperaturas interiores de aire monitorizadas.

Dada la extensión de los resultados se procederá a mostrar los resultados de manera horaria, mostrando un total de 4 días por página, para posteriormente analizar las desviaciones correspondientes a las temperaturas obtenidas. Además, se colocará un extracto de las mediciones minuto a minuto que fueron realizadas durante el periodo de medición para realizar un breve análisis de ello.

hora	HOBO		ARDUINO	
1	TEMP media int	TEMP media ext	TEMP media int	TEMP media ext
2	22,52381667	17,97081667	22,11416667	13,58333333
3	21,93608333	17,22803333	21,58216667	13
4	21,44845	16,59595	21,132	12,56666667
5	20,9718	15,91128333	20,67416667	11,76666667
6	20,51463333	15,3388	20,231	11,01666667
7	20,0908	14,74616667	19,88833333	10,9
8	19,92811667	14,37138333	19,76416667	10,73333333
9	19,68173333	14,1544	19,56883333	10,9
10	19,73348333	15,1977	19,86366667	13,46666667
11	20,50318333	18,11218333	20,86583333	17,11666667
12	21,12053333	20,48755	21,5585	19,58333333
13	21,24975	22,75235	21,90883333	21,81666667
14	21,57778333	24,82796667	22,08316667	23,68333333
15	22,24938333	26,14725	22,56516667	24,63333333
16	22,86708333	26,09185	23,0755	23,8
17	23,1764	25,4208	23,1725	22,56666667
18	23,2924	24,24173333	23,151	20,83333333
19	23,3188	22,9959	23,1175	19,38333333
20	23,2068	22,16875	22,97	18,71666667
21	23,1548	21,34433333	22,90633333	17,26666667
22	22,9892	20,40903333	22,72333333	16,65
23	22,7342375	19,4045875	22,51266667	15,56666667
24	22,408025	18,5934	22,19730159	14,6031746
25	22,17001667	18,1516	21,91383333	14,06666667
26	21,782	17,76741667	21,473	14
27	21,36458333	17,41431667	21,06433333	13,98333333
28	20,96936667	16,96413333	20,68	13,71666667
29	20,61353333	16,43246667	20,342	12,78333333
30	20,28361667	16,15295	20,03583333	12,86666667
31	19,98676667	15,84925	19,77433333	12,4
32	19,79536667	15,21221667	19,6365	11,26666667
33	19,65216667	14,868	19,5765	11,75
34	19,72318333	15,55036667	19,99066667	14,15
35	20,35065	17,80398333	20,30016667	16,45
36	20,66956667	19,48751667	20,97183333	18,93333333
37	21,24906667	22,7012	21,69566667	22,51666667
38	21,5345	24,74451667	21,90066667	24
39	21,9668	26,2877	22,30033333	24,96666667
40	22,62116667	26,75158333	22,94566667	24,81666667
41	23,1032	26,2867	23,37316667	23,61666667
42	23,3864	25,39576667	23,37766667	22,45
43	23,42	24,38945	23,241	21,13333333
44	23,274	23,29911667	23,08933333	19,8
45	23,2028	22,24633333	23,05666667	18,31666667
46	23,0691	20,907075	22,89983333	16,9
47	22,8908	19,9515	22,76383333	15,73333333
48	22,658175	19,0262	22,47474576	14,52542373
49	22,34253333	18,2336	21,91383333	14,06666667

hora	HOBO		ARDUINO	
	TEMP media int	TEMP media ext	TEMP media int	TEMP media ext
50	21,92135	17,52495	21,473	13,36666667
51	21,40355	16,80708333	21,06433333	12,96666667
52	20,94	16,15483333	20,68	12,05
53	20,50906667	15,6006	20,342	11,75
54	20,08713333	15,00946667	20,03583333	10,9
55	19,68473333	14,49225	19,77433333	10,98333333
56	19,3104	14,174	19,6365	10,96666667
57	19,00038333	13,8608	19,5765	10,48333333
58	19,11253333	14,6388	19,99066667	13,41666667
59	20,38136667	17,6241	20,30016667	17,26666667
60	21,19783333	20,57788333	20,97183333	20,5
61	21,07195	23,14421667	21,69566667	22,65
62	21,62791667	25,21045	21,90066667	24,63333333
63	22,21066667	26,49053333	22,30033333	25
64	22,80958333	26,8251	22,94566667	24,96666667
65	23,39243333	26,75873333	23,37316667	24,28333333
66	23,6306	25,75656667	23,37766667	22,68333333
67	23,6454	24,68378333	23,241	21,08333333
68	23,48771667	23,41451667	23,08933333	19,58333333
69	23,3392	22,33321667	23,05666667	18,46666667
70	23,1627	21,301025	22,89983333	17,25
71	23,056	20,530675	22,76383333	16,93333333
72	22,869	19,98215	22,47474576	16,06779661
73	22,64775	19,23745	22,40483333	15,31666667
74	22,31065	18,38738333	22,00166667	14,18333333
75	21,80505	17,76153333	21,48766667	14
76	21,3606	17,27156667	21,05666667	13,5
77	20,97016667	16,48568333	20,73116667	12,4
78	20,66785	15,76736667	20,43266667	11,56666667
79	20,25386667	15,14425	19,97283333	11,01666667
80	19,90198333	14,69148333	19,7125	10,85
81	19,61015	14,32191667	19,40083333	10,93333333
82	19,62795	14,96188333	19,964	13,28333333
83	20,65128333	17,77006667	21,023	17,31666667
84	21,48036667	20,41778333	21,49533333	20,11666667
85	21,34038333	22,53856667	21,70116667	21,8
86	21,65456667	24,72761667	22,03883333	24,16666667
87	22,21305	26,1733	22,52116667	24,71666667
88	22,92866667	26,88798333	23,23066667	24,95
89	23,42555	26,5329	23,54216667	23,93333333
90	23,7334	25,70831667	23,67883333	22,61666667
91	23,8122	24,52556667	23,624	21,03333333
92	23,58328333	23,29681667	23,31033333	19,56666667
93	23,4244	22,0167	23,302	18,15
94	23,3616	20,677425	23,16216667	16,46666667
95	23,0876	19,54825	22,92283333	15,21666667
96	22,854875	18,84945	22,57932203	14,69491525
97	22,47108333	18,11183333	22,18633333	14

Tabla 6.1: Promedio de mediciones horarias sistemas Hobo y sistemas Arduino Días 1,2,3 y 4

Fuente: Elaboración propia

hora	HOBO		ARDUINO	
	TEMP media int	TEMP media ext	TEMP media int	TEMP media ext
98	22,05281667	17,40561667	21,7525	13,26666667
99	21,5599	16,75868333	21,23433333	12,88333333
100	21,02541667	16,09161667	20,72483333	12,03333333
101	20,54958333	15,53301667	20,272	11,51666667
102	20,12723333	15,01236667	19,88716667	11,01666667
103	19,73706667	14,60291667	19,57183333	11
104	19,51496667	14,13385	19,37033333	10,46666667
105	19,21726667	13,8212	19,11033333	10,7
106	19,27663333	14,52855	19,596	13,3
107	20,194	17,45868333	20,71483333	17,38333333
108	21,04248333	20,3174	21,30066667	20,15
109	21,04215	23,10903333	21,622	23,25
110	21,37571667	25,14653333	21,80683333	24,41666667
111	22,00745	26,29078333	22,47883333	25
112	22,71901667	26,79333333	22,94716667	24,93333333
113	23,2048	26,43106667	23,3785	23,8
114	23,54115	25,51308333	23,51083333	22,46666667
115	23,5874	24,37941667	23,35566667	20,85
116	23,45955	23,1884	23,26683333	19,45
117	23,3864	21,95576667	23,18	17,96666667
118	23,1276	20,635775	22,93033333	16,46666667
119	22,84261667	19,514975	22,695	15,31666667
120	22,5982	18,84825	22,40525424	14,55932203
121	22,31228333	18,07741667	22,064	14
122	21,92565	17,34091667	21,65033333	13,2
123	21,4532	16,72266667	21,21066667	12,91666667
124	20,97578333	16,15646667	20,67283333	12,25
125	20,46581667	15,54296667	20,17583333	11,78333333
126	20,01615	15,07126667	19,7625	11,21666667
127	19,60616667	14,61955	19,372	10,88333333
128	19,2335	14,08153333	19,0015	10,11666667
129	18,85021667	13,654	18,70583333	10,15
130	18,92783333	14,35916667	19,40233333	13,35
131	20,02656667	17,55818333	20,60466667	17,88333333
132	20,85813333	20,82455	21,08016667	20,9
133	20,8916	23,22716667	21,46733333	23,16666667
134	21,30175	25,3572	21,92433333	24,66666667
135	22,06878333	26,4911	22,60733333	24,96666667
136	22,65273333	26,97256667	22,91283333	24,98333333
137	23,1192	26,65633333	23,26316667	24,1
138	23,46846667	25,79225	23,42966667	22,63333333
139	23,5702	24,60328333	23,4115	21,08333333
140	23,53735	23,38528333	23,358	19,55
141	23,4036	22,16895	23,17816667	18,01666667
142	23,1402	20,9389	22,9245	16,91666667
143	22,82508333	19,940275	22,64383333	15,81666667
144	22,618	19,19505	22,41661017	15,01694915
145	22,3426	18,37586667	22,08366667	14
146	21,95876667	17,59583333	21,6475	13,41666667

hora	HOBO		ARDUINO	
	TEMP media int	TEMP media ext	TEMP media int	TEMP media ext
147	21,51566667	16,86505	21,25983333	13
148	21,0743	16,38953333	20,75116667	12,6
149	20,59283333	15,76098333	20,26783333	11,98333333
150	20,15068333	15,33921667	19,88	11,71666667
151	19,73975	14,76995	19,49316667	10,96666667
152	19,36196667	14,29716667	19,12416667	10,58333333
153	19,01941667	13,8972	18,85833333	10,5
154	18,97381667	14,37345	19,29166667	12,76666667
155	19,63315	16,90895	20,35766667	16,58333333
156	20,38191667	19,79716667	20,86166667	19,65
157	20,64396667	22,05286667	21,38616667	21,6
158	21,08186667	24,0136	21,81683333	23,2
159	22,07561667	25,23283333	22,73616667	23,91666667
160	22,74933333	25,78125	22,8345	23,65
161	23,0272	25,3395	23,019	22,65
162	23,3052	24,48756667	23,2645	21,35
163	23,3048	23,47578333	23,0315	20,11666667
164	23,1396	22,46041667	23,0085	18,35
165	23,1136	21,1873	22,88133333	17
166	22,862925	19,9588375	22,6265	15,8
167	22,5314	19,029775	22,3715	15,05
168	22,27425	18,35401667	22,07305085	14,11864407
169	21,9826	17,69495	21,689	13,85
170	21,54553333	16,96296667	21,298	12,98333333
171	21,13111667	16,30656667	20,89633333	12,35
172	20,70765	15,69058333	20,411	11,73333333
173	20,2082	15,13266667	19,9035	11,06666667
174	19,75483333	14,65713333	19,49333333	11
175	19,35918333	14,24363333	19,13633333	10,75
176	19,03835	13,7504	18,844	10,05
177	18,7955	13,40403333	18,72616667	10,18333333
178	18,57281667	13,83101667	18,43966667	11,95
179	18,42928333	14,85951667	18,53266667	13,53333333
180	18,6068	15,93025	18,85183333	14,28333333
181	18,79755	16,84671667	19,00666667	15,55
182	19,23915	17,8856	19,69633333	16,66666667
183	19,44613333	19,09921667	19,748	18,2
184	19,83215	20,41775	20,2195	19
185	20,09026667	20,6061	20,3075	19
186	20,22265	20,64835	20,38766667	18,36666667
187	20,04303333	20,10903333	20,13483333	17,03333333
188	19,60295	19,49238333	19,92683333	16,6
189	18,9255	18,91888333	19,89833333	16,05
190	19,1755375	17,9519875	19,98433333	14,33333333
191	19,86073333	17,19215	20,002	13,83333333
192	19,80225	16,74648333	19,87033898	13,86440678
193	19,82665	16,42331667	19,82783333	13,2
194	19,60461667	15,97646667	19,5085	13
195	19,38173333	15,63553333	19,18966667	12,61666667
196	19,09226667	15,2983	18,886	12,23333333
197	18,84943333	15,07946667	18,62233333	12,03333333
198	18,6452	14,89015	18,42466667	12
199	18,39103333	14,5762	18,2595	11,31666667
200	18,31796667	14,14418333	18,27866667	10,93333333
201	18,23395	13,71635	18,22616667	10,61666667
202	18,33768333	13,98008333	18,91116667	12,86666667
203	19,14115	16,42788333	20,01433333	16,21666667
204	19,86861667	19,07063333	20,82866667	19
205	20,3368	21,47835	21,122	21,36666667
206	20,8927	23,41073333	21,366	22,95
207	21,42658333	24,67548333	21,64266667	23,36666667
208	21,97828333	25,15346667	22,1595	23,08333333
209	22,37043333	24,59348333	22,4385	21,68333333
210	22,4414	23,65253333	22,33383333	20,56666667
211	22,24131667	22,63001667	22,14183333	19,4
212	22,13858333	21,47886667	22,08066667	17,5
213	22,11178333	20,14366667	21,83816667	16,18333333
214	21,8348875	18,75455	21,6475	14,35
215	21,55615	17,73685	21,40083333	13,96666667
216	21,2787	17,14508333	21,04711864	13,22033898
217	20,9372	16,46575	20,66583333	12,7
218	20,55951667	15,7749	20,2355	11,91666667
219	20,05466667	15,13105	19,6825	11,11666667

Tabla 6.2: Promedio de mediciones horarias sistemas Hobo y sistemas Arduino Días 5,6,7,8 y 9

Fuente: Elaboración propia

hora	HOBO		ARDUINO	
	TEMP media int	TEMP media ext	TEMP media int	TEMP media ext
220	19,53758333	14,53261667	19,20216667	10,86666667
221	19,09038333	13,9344	18,78883333	9,983333333
222	18,66436667	13,35276667	18,40833333	9,5
223	18,27716667	12,88955	18,06133333	9,1
224	17,9407	12,62118333	17,75066667	9,033333333
225	17,67683333	12,29408333	17,55533333	9,15
226	17,7663	12,90526667	18,52716667	12,41666667
227	18,81616667	16,32236667	20,084	17,38333333
228	20,08451667	19,81	20,9945	20,61666667
229	20,7731	22,6016	21,319	23,26666667
230	21,04135	24,74128333	21,5995	24,66666667
231	21,62246667	26,18511667	22,12183333	25
232	22,24286667	26,58303333	22,6005	24,78333333
233	22,70661667	26,05505	22,9475	23,41666667
234	22,9808	25,1274	22,93766667	22,21666667
235	22,9668	24,01536667	22,77733333	20,66666667
236	22,7562	22,71118333	22,5225	19,03333333
237	22,599	21,4796	22,28733333	17,43333333
238	22,362525	20,4268875	22,17966667	16,78333333
239	22,2192	19,637525	22,08083333	16,03333333
240	22,149825	19,20258333	21,95542373	15,79661017
241	21,87233333	18,61956667	21,665	14,91666667
242	21,52645	18,13685	21,297	14,43333333
243	21,15136667	17,39481667	20,9125	13,5
244	20,7374	16,74206667	20,43533333	13
245	20,32015	16,24773333	20,04816667	12,5
246	19,96218333	15,59578333	19,68783333	11,45
247	19,58555	14,70135	19,35183333	10,55
248	19,32783333	14,0384	19,175	10
249	19,06976667	13,51395	18,95133333	9,833333333
250	19,12688333	13,85363333	19,75933333	12,61666667
251	20,03725	16,29385	20,72183333	15,81666667
252	20,68426667	19,25828333	21,102	19,5
253	20,6888	21,5826	21,41733333	21,28333333
254	20,95748333	23,29566667	21,5025	22,55
255	21,34551667	24,19236667	21,658	22,4
256	21,87388333	24,17333333	22,11233333	21,58333333
257	22,29121667	23,57906667	22,3375	20,63333333
258	22,05238333	22,66953333	21,93016667	19,48333333
259	22,10575	21,5584	21,91883333	17,76666667
260	22,0222	20,3349	21,762	16,55
261	21,79905	19,08645	21,4585	14,81666667
262	21,440025	17,7103	21,22333333	13,75
263	21,11126667	16,855925	20,92416667	12,86666667
264	20,683725	15,94731667	20,39338983	11,25423729
265	20,30745	15,1012	19,95766667	11,01666667
266	19,79213333	14,39061667	19,39883333	10,16666667
267	19,2727	13,64731667	18,91716667	9,466666667
268	18,78481667	12,91275	18,468	8,75
269	18,32235	12,2918	18,0415	8,666666667
270	17,91375	11,87311667	17,65033333	8,166666667
271	17,49765	11,44378333	17,2955	7,933333333
272	17,23988333	11,03111667	17,15233333	7,983333333
273	17,02431667	10,92506667	16,96983333	8,383333333
274	16,91261667	11,78566667	17,151	10,8
275	17,6763	13,91051667	18,39766667	14,21666667
276	18,18171667	16,65413333	19,28616667	17,26666667
277	18,38761667	19,01751667	18,94883333	18,65
278	18,66355	20,95026667	19,41766667	20,93333333
279	19,41708333	22,14926667	19,94133333	21,05
280	19,88531667	22,79855	20,24983333	21
281	20,34475	22,66391667	20,59033333	20,63333333
282	20,66276667	22,17558333	20,78033333	19,55
283	20,81025	21,23941667	20,75833333	18,13333333
284	20,79238333	20,12298333	20,7325	16,78333333
285	20,78836667	19,07888333	20,69666667	15,71666667
286	20,657725	18,0575375	20,5715	14,45
287	20,46535	17,387675	20,34516667	14
288	20,265825	16,92688333	20,10355932	13,69491525
289	20,05216667	16,4451	19,87116667	13
290	19,74688333	15,74271667	19,48833333	12,21666667
291	19,3346	15,05093333	19,03633333	11,26666667
292	18,89063333	14,42061667	18,59716667	10,95

hora	HOBO		ARDUINO	
	TEMP media int	TEMP media ext	TEMP media int	TEMP media ext
293	18,5003	14,0308	18,2315	10,98333333
294	18,15985	13,7048	17,92783333	10,53333333
295	17,83843333	13,37748333	17,64233333	10,06666667
296	17,56975	13,2142	17,3985	10,03333333
297	17,33468333	13,11875	17,193	10,6
298	17,13688333	13,55791667	17,17066667	12,2
299	17,41081667	14,91031667	17,63233333	14,05
300	17,57676667	16,26276667	17,9545	15,76666667
301	18,10718333	18,42023333	18,88916667	19,26666667
302	18,6124	21,32603333	19,46466667	22,3
303	19,61766667	23,3268	20,39116667	22,83333333
304	20,3048	23,571	20,657	22
305	20,5508	23,36765	20,83	21,16666667
306	20,80181667	22,83081667	20,78183333	20,21666667
307	20,77085	21,95371667	20,848	18,78333333
308	20,97145	20,81571667	21,0755	17,06666667
309	21,1558	19,77188333	20,96366667	16,3
310	20,8229375	19,091625	20,65583333	15,9
311	20,63648333	18,349075	20,54083333	14,56666667
312	20,47585	17,7243	20,33271186	14
313	20,28486667	17,16653333	20,1295	13,61666667
314	20,10826667	16,55038333	19,99566667	13,01666667
315	19,91263333	16,19776667	19,74316667	13
316	19,63313333	15,7335	19,395	12,2
317	19,24976667	15,24046667	18,97466667	11,93333333
318	18,87676667	14,77561667	18,62533333	11,01666667
319	18,54505	14,3817	18,32133333	11
320	18,25141667	13,88986667	18,023	10,21666667
321	17,96693333	13,46203333	17,87316667	10,08333333
322	18,0339	13,8115	18,6425	12,61666667
323	18,86845	15,97283333	19,8145	16,06666667
324	19,64553333	18,70796667	20,31666667	18,9
325	20,07423333	21,04085	20,8815	20,91666667
326	20,66035	22,79493333	20,86266667	21,95
327	20,90626667	23,57546667	21,45483333	21,86666667
328	21,49698333	23,63158333	21,76	20,93333333
329	21,87118333	22,92313333	21,79566667	19,66666667
330	21,901	21,88205	21,6905	18,21666667
331	21,81651667	20,73908333	21,53083333	16,68333333
332	21,6215	19,61328333	21,33616667	15,48333333
333	21,44053333	18,53988333	21,18633333	14,28333333
334	21,2592125	17,4799	20,96666667	13,43333333
335	20,86453333	16,754825	20,65983333	12,91666667
336	20,599725	16,07615	20,33491525	11,94915254
337	20,30433333	15,31575	20,004	11,05
338	19,89838333	14,69056667	19,51933333	10,96666667
339	19,38968333	14,11633333	18,97366667	10,05
340	18,86406667	13,59491667	18,50333333	10
341	18,41035	13,12526667	18,08966667	9,2
342	17,9986	12,66476667	17,70933333	8,966666667
343	17,59946667	12,13215	17,329	8,6
344	17,21406667	11,65198333	16,98616667	8,2
345	16,92495	11,49665	16,808	8,733333333
346	16,70326667	11,69968333	16,56416667	9,166666667
347	16,57815	12,25941667	17,09216667	10,81666667
348	17,42503333	14,4375	18,09083333	14,01666667
349	17,52686667	16,40106667	17,92	16,35
350	17,7587	18,06383333	18,0915	16,91666667
351	18,12265	18,58115	18,73783333	17
352	18,90061667	18,81575	19,22233333	17
353	19,1258	18,77373333	19,09966667	16,4
354	19,21396667	18,46501667	19,096	15,96666667
355	19,2035	17,84596667	19,08333333	14,6
356	19,26365	16,87135	19,24616667	13,45
357	19,32185	15,76123333	19,02283333	12
358	18,9571625	14,6740875	18,7185	11,1
359	18,55451667	13,9006	18,35533333	10,3
360	18,255175	13,39888333	18,05440678	9,711864407

Tabla 6.3: Promedio de mediciones horarias sistemas Hobo y sistemas Arduino Días 10,11,12,13,14 y 15

Fuente: Elaboración propia

Tal como se puede observar en las mediciones horarias, las diferencias obtenidas con los sensores interiores, no representa un elemento de alta desviación, sin embargo, las mediciones exteriores muestran una diferencia mayor solamente analizando las tablas 9.1, 9.2 y 9.3 que muestran los resultados horarios de los días 1 al 15, donde es posible observar que los sensores interiores no muestran en una vista rápida diferencias superiores a 1°C.

Mientras que las mediciones realizadas al exterior mediante Arduino muestran diferencias de temperatura de 2 o más "°C". Además, se puede observar que las mediciones con sensor exterior de Arduino muestran resultados de números enteros en su promedio horario, mientras que las mediciones interiores, muestran resultados con números decimales en sus promedios horarios, es por este motivo que se presentaran un muestreo de resultados directamente obtenidos de los sensores.

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos de los datos minuto a minuto de la presente investigación en los sensores interiores y exteriores de ambos sistemas tanto patentado como de código libre, sin embargo, por la extensión de estos, se procederá a mostrar un extracto aleatorio con fin de analizar brevemente la situación de diferenciación posible existente entre los aparatos de medición.

TEMP. Int	Temp Ext.	hora
22,57	14	0:55
22,57	14	0:56
22,54	14	0:57
22,56	14	0:58
22,54	14	0:59
22,49	14	1:0
22,45	14	1:1
22,44	14	1:2
22,39	14	1:3
22,39	14	1:4
22,36	13	1:5
22,35	13	1:6
22,31	14	1:7
22,31	14	1:8
22,3	14	1:9
22,29	14	1:10
22,29	14	1:11

Tabla 6.4: Extracto de mediciones día 1 mediante sistema Arduino

Fuente: Elaboración propia

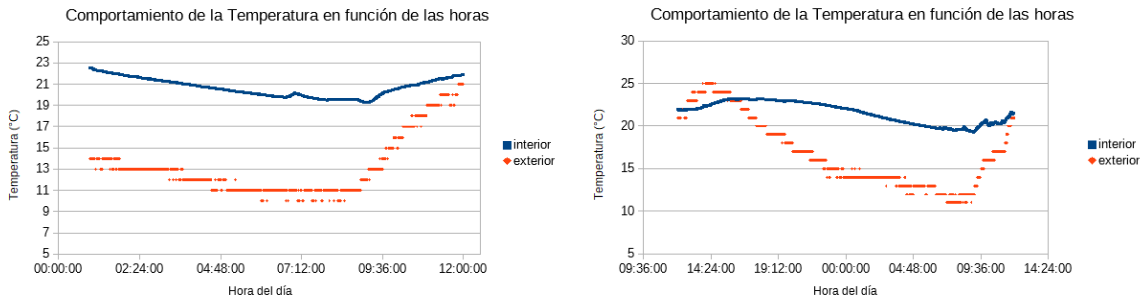


Grafico 6.1: Mediciones realizadas con sistema Arduino Sensores HDC1080 día 1 (izquierda) y día 2 (derecha) de medición

Fuente: Elaboración propia

Mediante el extracto de mediciones minuto a minuto por día podemos observar que los datos extraídos del sensor 2 poseen números enteros mientras que los extraídos mediante el sensor interior muestra datos de manera decimal. De esta manera es posible obtener una precisión mayor a la obtenida que en sensor exterior.

A continuación, se presentan gráficos obtenidos para graficar los resultados minuto a minuto de los días 1 y 2 en los cuales es posible observar la diferenciación en la recolección de datos, en grafico 1 y 2 es posible observar como los sensores interiores son capaces de recoger una variación ínfima en la temperatura (gráficos de los 15 días de medición Anexo3). Mientras que los sensores ubicados al exterior del recinto solo recogieron los valores de resultados como numero entero, esto no fue debido al uso de interior o exterior, dado que al realizar medición de prueba luego de los 15 días de análisis el sensor exterior únicamente realizo mediciones en números enteros, con una desviación visible frente al sensor que se localizó al interior del recinto

A continuación, se procederá a mostrar la comparación entre los sensores de manera procesada:

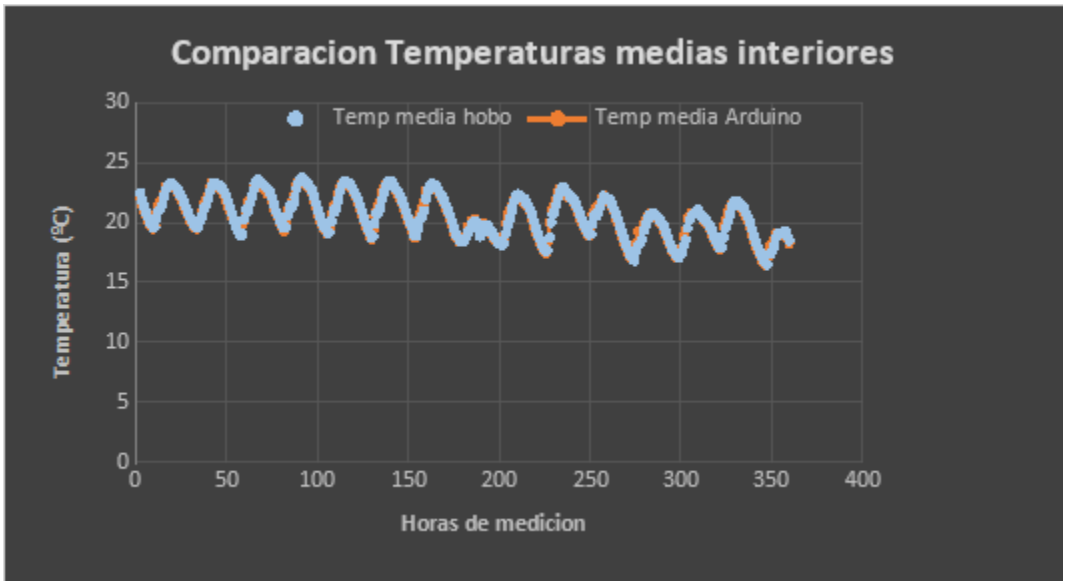


Grafico 6.2: Mediciones temperatura interior promedios horarios realizadas con sistema Arduino

Fuente: Elaboración propia

Tal como se puede ver en el grafico 9.2 las mediciones realizadas con Arduino y HOBO muestran un bajo nivel de desviación en los datos recolectados, sin embargo, se observan sectores de desviación entre ellos, estos datos fueron evaluados durante 360 horas de medición, con mediciones realizadas cada 1 minutos sin embargo denota un alto rendimiento en su sensor interior.

Rango de variacion temp int	
0,001183333333298	Rango inf
1,2678333333333	Rango sup

Tabla 6.5: Rango de variación de temperatura interior entre HOBO y Arduino

Fuente: Elaboración propia

Promedio Error Interior	Desviacion
0,287718663700531	0,1975372

Tabla 6.6: Error promedio y desviación de datos de Arduino en Sensor interior

Fuente: Elaboración propia

Mediante el análisis del total de resultados obtenidos cada 1 minuto con el sensor de temperatura HDC1080 utilizado en Arduino y el sensor de temperatura de HOBO ONSET podemos observar lo siguiente:

De un total de **22970 datos** respecto a los resultados obtenidos con el hardware HOBO ONSET

- El valor de medición que tuvo una menor diferencia corresponde a: **0,00118°C de diferencia.**

- Mientras que la diferencia más alta corresponde a: **1,26783 °C de diferencia.**

Por lo que se puede concluir que respecto al sensor interior existe un **error promedio de 0,28771°C,** con una **desviación de 0,19753 °C.**

Los resultados expuestos muestran una tendencia prometedora respecto a una validación del hardware de sistema código abierto Arduino, respecto a temperatura interior con la utilización del sensor señalado HDC1080.

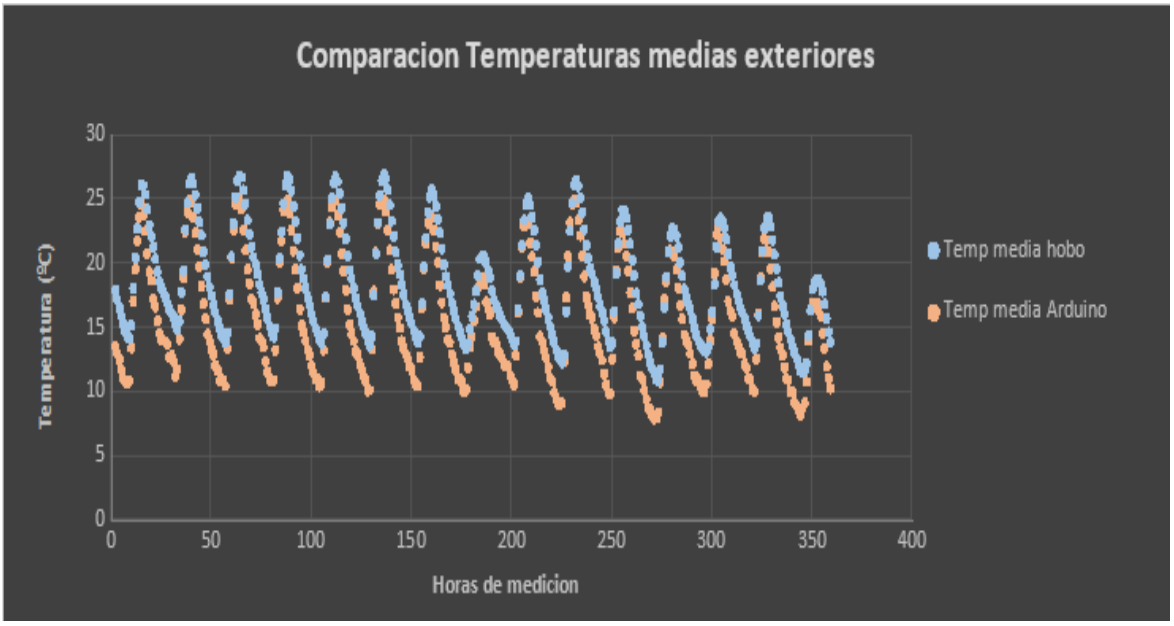


Grafico 6.3: Mediciones temperatura Exterior promedios horarios realizadas con sistema Arduino

Fuente: Elaboración propia

Tal como se puede ver en el grafico 9.3 las mediciones realizadas con Arduino y HOBO muestran un nivel mayor de desviación en los datos recolectados que los obtenidos con el Sensor interior, sin embargo, se observa una tendencia de desviación donde los datos obtenidos con el sistema Arduino tiene datos de temperaturas inferiores a las recolectadas con el sistema HOBO.

Estos datos fueron evaluados durante 360 horas de medición, con mediciones realizadas cada 1 minutos sin embargo denota un rendimiento inferior al sensor interior, esto puede deberse a que los datos recolectados con el sensor HDC1080 en exterior recolecto los datos de manera entera, lo cual muestra enseguida algún posible error en el sistema de dicho sensor exterior.

Se puede observar que el rendimiento inferior al sensor interior puede deberse a que el sensor muestra una tendencia a una posible falla de calibración de fábrica, dado a que muestra limites superiores inferiores a los obtenidos con HOBO Onset y temperaturas del límite inferior, inferiores a la del hardware patentado.

Rango de variacion temp ext	
0,016933333333398	Rango inf
4,6930793785311	Rango sup

Tabla 6.7: Rango de variación de temperatura Exterior entre HOBO y Arduino

Fuente: Elaboración propia

Promedio Error Exterior	Desviacion
2,84272925102165	1,3148551

Tabla 6.8: Error promedio y desviación de datos de Arduino en Sensor Exterior

Fuente: Elaboración propia

Mediante el análisis del total de resultados obtenidos cada 1 minuto con el sensor de temperatura HDC1080 utilizado en Arduino y el sensor de temperatura de ARDUINO podemos observar lo siguiente:

De un total de **22970 datos** respecto a los resultados obtenidos con el hardware ARDUINO

- El valor de medición que tuvo una menor diferencia corresponde a: **0,01693 °C de diferencia.**

- Mientras que la diferencia más alta corresponde a: **4,69307 °C de diferencia.**

Por lo que se puede concluir que respecto al sensor Exterior existe un **error promedio de 2,84272°C,** con una **desviación de 1,31485 °C.**

Los resultados expuestos muestran una alta desviación en los datos, esto debido a un posible error de calibración en el sensor debido a que la gráfica muestra una tendencia a bajar el valor de las temperaturas promedio diarias. Cabe considerar que la evaluación de los datos en sus desviaciones no esclarece si existe una tendencia negativa o positiva o si el rango de variación es aleatorio.

Es por esto que se procede a ejecutar un ejercicio de calibración manual, en el cual se procederá a ejecutar 2 pruebas de calibración manual, una en la que se sumara a los valor obtenidos con el sistema Arduino el rango máximo de temperatura desviada y un segundo en el cual se procede a sumar la desviación promedio sobre los datos obtenidos con el Software Arduino, para verificar si el rango de temperatura corresponde a una desviación por calibración en la cual se tiendan a desviar los datos a un margen inferior.

A continuación, se procederá a mostrar los resultados obtenidos mediante la prueba de calibración manual 1 a través de la suma del valor máximo de desviación.

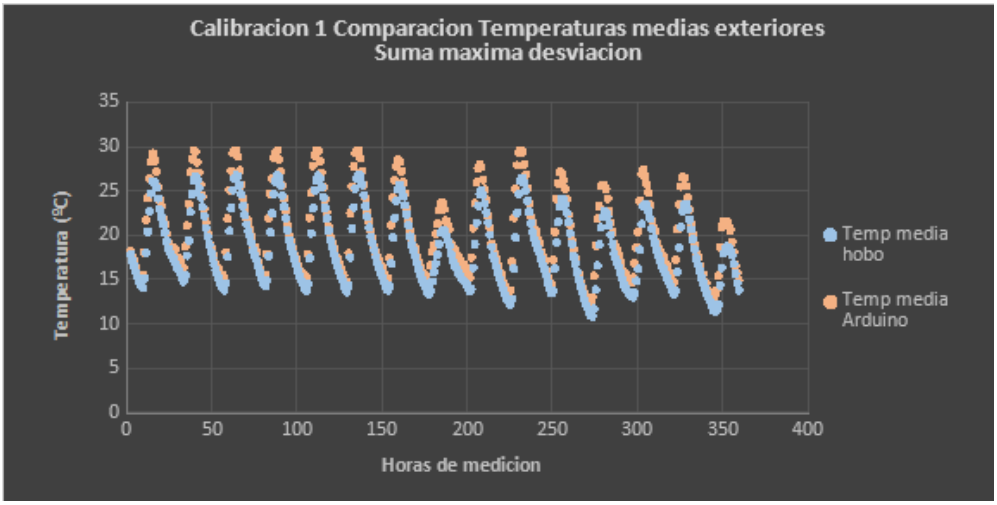


Grafico 6.4: Calibración manual 1 sensor Exterior suma de desviación máxima a promedios horarios con sistema Arduino

Fuente: Elaboración propia

Es posible observar que la correlación de datos de promedios horarios, al sumar el máximo de desviación a los resultados obtenidos con el hardware Arduino, demuestra una baja correlación en los datos, ya que los resultados tienden a ser más altos a los obtenidos con el hardware HOBO ONSET.

Rango de variacion temp ext mas max	
0,0000000000000	Rango inf
5,7540460451977	Rango sup

Tabla 6.9: Rango de variación de temperatura Exterior entre HOBO y Arduino calibración 1

Fuente: Elaboración propia

Promedio Error Exterior	Desviacion
1,88577433607555	1,38908337072787

Tabla 6.10: Error promedio y desviación de datos de Arduino en Sensor Exterior calibración 1

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el ejercicio de calibración manual de los datos obtenidos con el hardware de Arduino, para lo cual a los resultados obtenidos con dicho hardware se le suma del promedio de su

desviación dado que en los datos obtenidos se observa se observa una discordancia con tendencia negativa, al realizar dicho ejercicio podemos observar lo siguiente:

De un total de **22970 datos** respecto a los resultados obtenidos con el hardware ARDUINO

- El valor de medición que tuvo una menor diferencia corresponde a: **0,0 °C de diferencia.**
- Mientras que la diferencia más alta corresponde a: **5,75404°C de diferencia.**

Por lo que se puede concluir que respecto al sensor Exterior existe un **error promedio de 1,88577°C,** con una **desviación de 1,38908 °C.**

Si bien existe una disminución en los errores promedios, existe un aumento de la desviación estándar lo que se refleja en el rango superior de desviación en los datos, lo que hace suponer que la suma mediante el rango de desviación máxima no representa el posible error de calibración que posee el sensor exterior HDC1080.

A continuación, se procederá a mostrar los resultados obtenidos mediante la prueba de calibración manual 2 a través de la suma del valor promedio de desviación.

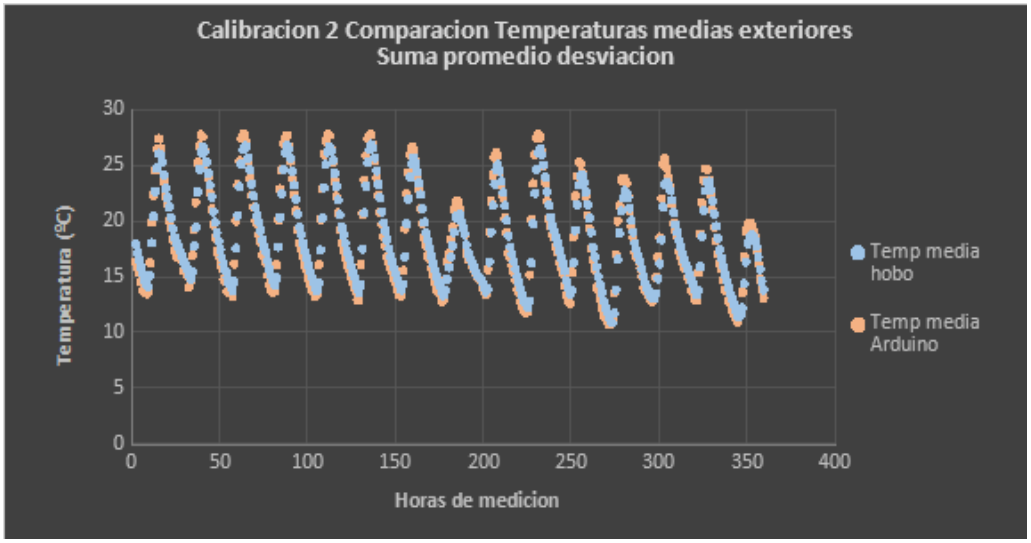


Grafico 6.5: Calibración manual 2 sensor Exterior suma de desviación promedio a promedios horarios con sistema Arduino

Fuente: Elaboración propia

Es posible observar que la correlación de datos de promedios horarios, al sumar el promedio de desviación a los resultados obtenidos con el hardware Arduino, muestra:

Una correlación alta en una vista rápida ya que los datos tienden a ser más concordantes con los obtenidos con el hardware HOBO ONSET.

Por otro lado, esto podría indicar un error de calibración de fábrica del sensor o un error en la programación de Arduino.

Rango de variacion temp ext mas prom	
0,01140408231165	Rango inf
3,90369591768825	Rango sup

Tabla 6.11: Rango de variación de temperatura Exterior entre HOBO y Arduino calibración 2

Fuente: Elaboración propia

Promedio Error Exterior	Desviación
1,1585113475363	0,764789473216728

Tabla 6.12: Error promedio y desviación de datos de Arduino en Sensor Exterior calibración 2

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el ejercicio de calibración manual de los datos obtenidos con el harware de Arduino, para lo cual a los resultados obtenidos con dicho hardware se le suma del promedio de su desviación dado que en los datos obtenidos se observa se observa una discordancia con tendencia negativa, al realizar dicho ejercicio podemos observar lo siguiente:

De un total de **22970 datos** respecto a los resultados obtenidos con el hardware ARDUINO

- El valor de medición que tuvo una menor diferencia corresponde a: **0,011404 °C de diferencia.**

- Mientras que la diferencia más alta corresponde a: **3,90369°C de diferencia.**

Por lo que se puede concluir que respecto al sensor Exterior existe un **error promedio de 1,15851°C,** con una **desviación de 0,76478 °C.**

Al realizar el estudio se ven resultados que podrían indicar un error de calibración del sensor dado que todos los resultados obtenidos muestran una disminución considerable de desviación, resultado de esto se procede a ratificar el código de programación, comprobando que el código no presento problema, sino que el sensor exterior presento problemas al momento de medir.

A continuación, se presentan los datos respecto a las mediciones de confort térmico adaptativo de acuerdo a lo establecido en la normativa internacional UNE-EN-15251

Lower Limit Category III	Upper Limit Category II	Lower Limit Category II	Upper Limit Category I	Lower Limit Category I	Temperatura interior	Estado de confort
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	21,9826	Comfort
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	21,54553333	Comfort
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	21,13111667	Comfort
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,70765	Slightly cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,2082	Slightly cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,75483333	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,35918333	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,03835	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,7955	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,57281667	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,42928333	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,6068	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,79755	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,23915	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,44613333	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,83215	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,09026667	Slightly cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,22265	Slightly cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,04303333	Slightly cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,60295	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,9255	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,1755375	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,86073333	Cool
18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,80225	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,82665	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,60461667	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,38173333	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,09226667	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,84943333	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,6452	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,39103333	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,31796667	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,23395	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,33768333	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,14115	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,86861667	Cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	20,3368	Slightly cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	20,8927	Slightly cool
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,42658333	Comfort
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,97828333	Comfort
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,37043333	Comfort
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,4414	Comfort
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,24131667	Comfort
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,13858333	Comfort
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,11178333	Comfort
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,8348875	Comfort
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,55615	Comfort
18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,2787	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,9372	Slightly cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,55951667	Slightly cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,05466667	Slightly cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	19,53758333	Cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	19,09038333	Cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	18,66436667	Cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	18,27716667	Cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	17,9407	Cold
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	17,67683333	Cold
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	17,7663	Cold
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	18,81616667	Cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,08451667	Slightly cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,7731	Slightly cool
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	21,04135	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	21,62246667	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,24286667	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,70661667	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,9808	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,9668	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,7562	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,599	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,362525	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,2192	Comfort
18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,149825	Comfort

Tabla 6.13: Evaluación de confort térmico mediante software Arduino día 8, 9 y 10

Fuente: Elaboración propia

18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,87233333	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,52645	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,15136667	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,7374	Slightly cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,32015	Slightly cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,96218333	Cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,58555	Cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,32783333	Cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,06976667	Cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,12688333	Cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,03725	Slightly cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,68426667	Slightly cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,6888	Slightly cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,95748333	Slightly cool
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,34551667	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,87388333	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	22,29121667	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	22,05238333	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	22,10575	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	22,0222	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,79905	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,440025	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,11126667	Comfort
18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,683725	Slightly cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,30745	Slightly cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	19,79213333	Cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	19,2727	Cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,78481667	Cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,32235	Cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,91375	Cold
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,49765	Cold
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,23988333	Cold
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,02431667	Cold
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	16,91261667	Cold
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,6763	Cold
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,18171667	Cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,38761667	Cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,66355	Cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	19,41708333	Cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	19,88531667	Cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,34475	Slightly cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,66276667	Slightly cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,81025	Slightly cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,79238333	Slightly cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,78836667	Slightly cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,657725	Slightly cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,46535	Slightly cool
18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,265825	Slightly cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,05216667	Slightly cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	19,74688333	Cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	19,3346	Cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,89063333	Cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,5003	Cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,15985	Cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,83843333	Cold
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,56975	Cold
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,33468333	Cold
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,13688333	Cold
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,41081667	Cold
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,57676667	Cold
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,10718333	Cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,6124	Cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	19,61766667	Cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,3048	Slightly cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,5508	Slightly cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,80181667	Slightly cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,77085	Slightly cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,97145	Slightly cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	21,1558	Comfort
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,8229375	Slightly cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,63648333	Slightly cool
18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,47585	Slightly cool

Tabla 6.14: Evaluación de confort térmico mediante software Arduino día 11, 12 y 13

Fuente: Elaboración propia

18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,28486667	Slightly cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,10826667	Slightly cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	19,91263333	Cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	19,63313333	Cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	19,24976667	Cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,87676667	Cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,54505	Cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,25141667	Cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	17,96693333	Cold
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,0339	Cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,86845	Cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	19,64553333	Cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,07423333	Slightly cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,66035	Slightly cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,90626667	Slightly cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,49698333	Comfort
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,87118333	Comfort
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,901	Comfort
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,81651667	Comfort
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,6215	Comfort
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,44053333	Comfort
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,2592125	Comfort
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,86453333	Slightly cool
18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,599725	Slightly cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	20,30433333	Slightly cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,89838333	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,38968333	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,86406667	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,41035	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,9986	Cold
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,59946667	Cold
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,21406667	Cold
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	16,92495	Cold
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	16,70326667	Cold
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	16,57815	Cold
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,42503333	Cold
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,52686667	Cold
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,7587	Cold
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,12265	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,90061667	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,1258	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,21396667	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,2035	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,26365	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,32185	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,9571625	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,55451667	Cool
18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,255175	Cool

Tabla 6.15: Evaluación de confort térmico mediante software Arduino día 14 y 15

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que la evaluación mediante Arduino refleja una realidad donde gran parte del tiempo la evaluación se procesa bajo los niveles de confort estando entre las categorías –I, -II y –III De este modo a continuación se presenta la relación en los rangos de confort obtenidos con el software y hardware de medición de Arduino.

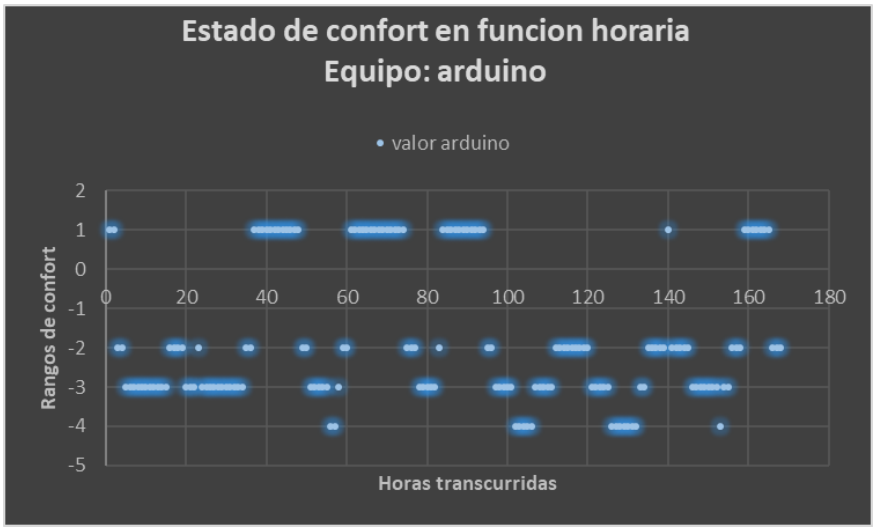


Grafico 6.6: Estados de confort obtenidos con medición de sistema Arduino

Fuente: Elaboración propia

El grafico se puede observar que existe una clara fluctuación entre los estados de confort, mostrando claramente que el recinto en el cual se realizaron las mediciones no presenta estrategias de diseño pasivo, ya que pasa una gran cantidad de tiempo en categoría -2,-3 y-4 las cuales hablan de temperaturas de confort bajas, sin embargo, se observan periodos de temperatura en confort.

A continuación, se procede a mostrar los resultados de evaluación de confort térmico obtenidos mediante las tecnologías patentadas de sistema patentado, en este caso mediante el equipo HOBO ONSET

Temp, Opt, EN 15251	Upper Limit Category III	Lower Limit Category III	Upper Limit Category II	Lower Limit Category II	Upper Limit Category I	Lower Limit Category I	Temperatura interior	Estado de confort
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	21,9826	Comfort
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	21,54553333	Comfort
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	21,13111667	Comfort
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,70765	Slightly cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,2082	Slightly cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,75483333	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,35918333	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,03835	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,7955	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,57281667	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,42928333	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,6068	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,79755	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,23915	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,44613333	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,83215	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,09026667	Slightly cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,22265	Slightly cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	20,04303333	Slightly cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,60295	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	18,9255	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,1755375	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,86073333	Cool
23,19	27,19	18,00	26,19	20,00	25,19	21,00	19,80225	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,82665	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,60461667	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,38173333	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,09226667	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,84943333	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,6452	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,39103333	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,31796667	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,23395	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	18,33768333	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,14115	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	19,86861667	Cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	20,3368	Slightly cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	20,8927	Slightly cool
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,42658333	Comfort
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,97828333	Comfort
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,37043333	Comfort
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,4414	Comfort
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,24131667	Comfort
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,13858333	Comfort
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	22,11178333	Comfort
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,8348875	Comfort
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,55615	Comfort
23,01	27,01	18,00	26,01	20,00	25,01	21,00	21,2787	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,9372	Slightly cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,55951667	Slightly cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,05466667	Slightly cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	19,53758333	Cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	19,09038333	Cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	18,66436667	Cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	18,27716667	Cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	17,9407	Cold
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	17,67683333	Cold
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	17,7663	Cold
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	18,81616667	Cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,08451667	Slightly cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	20,7731	Slightly cool
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	21,04135	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	21,62246667	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,24286667	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,70661667	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,9808	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,9668	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,7562	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,599	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,362525	Comfort
23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,2192	Comfort

Tabla 6.16: Evaluación de confort térmico mediante software HOBO ONSET día 8, 9 y 10

Fuente: Elaboración propia

23,00	27,00	18,00	26,00	20,00	25,00	21,00	22,149825	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,87233333	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,52645	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,15136667	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,7374	Slightly cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,32015	Slightly cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,96218333	Cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,58555	Cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,32783333	Cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,06976667	Cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	19,12688333	Cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,03725	Slightly cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,68426667	Slightly cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,6888	Slightly cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,95748333	Slightly cool
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,34551667	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,87388333	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	22,29121667	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	22,05238333	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	22,10575	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	22,0222	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,79905	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,440025	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	21,11126667	Comfort
22,99	26,99	18,00	25,99	20,00	24,99	21,00	20,683725	Slightly cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,30745	Slightly cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	19,79213333	Cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	19,2727	Cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,78481667	Cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,32235	Cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,91375	Cold
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,49765	Cold
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,23988333	Cold
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,02431667	Cold
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	16,91261667	Cold
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	17,6763	Cold
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,18171667	Cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,38761667	Cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	18,66355	Cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	19,41708333	Cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	19,88531667	Cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,34475	Slightly cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,66276667	Slightly cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,81025	Slightly cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,79238333	Slightly cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,78836667	Slightly cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,657725	Slightly cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,46535	Slightly cool
22,95	26,95	18,00	25,95	20,00	24,95	21,00	20,265825	Slightly cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,05216667	Slightly cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	19,74688333	Cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	19,3346	Cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,89063333	Cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,5003	Cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,15985	Cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,83843333	Cold
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,56975	Cold
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,33468333	Cold
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,13688333	Cold
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,41081667	Cold
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	17,57676667	Cold
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,10718333	Cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	18,6124	Cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	19,61766667	Cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,3048	Slightly cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,5508	Slightly cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,80181667	Slightly cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,77085	Slightly cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,97145	Slightly cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	21,1558	Comfort
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,8229375	Slightly cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,63648333	Slightly cool
22,80	26,80	18,00	25,80	20,00	24,80	21,00	20,47585	Slightly cool

Tabla 6.17: Evaluación de confort térmico mediante software HOBO ONSET día 11, 12 y 13

Fuente: Elaboración propia

22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,28486667	Slightly cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,10826667	Slightly cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	19,91263333	Cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	19,63313333	Cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	19,24976667	Cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,87676667	Cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,54505	Cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,25141667	Cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	17,96693333	Cold
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,0339	Cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	18,86845	Cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	19,64553333	Cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,07423333	Slightly cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,66035	Slightly cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,90626667	Slightly cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,49698333	Comfort
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,87118333	Comfort
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,901	Comfort
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,81651667	Comfort
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,6215	Comfort
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,44053333	Comfort
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	21,2592125	Comfort
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,86453333	Slightly cool
22,77	26,77	18,00	25,77	20,00	24,77	21,00	20,599725	Slightly cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	20,30433333	Slightly cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,89838333	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,38968333	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,86406667	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,41035	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,9986	Cold
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,59946667	Cold
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,21406667	Cold
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	16,92495	Cold
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	16,70326667	Cold
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	16,57815	Cold
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,42503333	Cold
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,52686667	Cold
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	17,7587	Cold
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,12265	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,90061667	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,1258	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,21396667	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,2035	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,26365	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	19,32185	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,9571625	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,55451667	Cool
22,76	26,76	18,00	25,76	20,00	24,76	21,00	18,255175	Cool

Tabla 6.18: Evaluación de confort térmico mediante software HOBO ONSET día 14 y 15

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que al igual que la evaluación mediante Arduino refleja una realidad donde gran parte del tiempo la evaluación se procesa bajo los niveles de confort estando entre las categorías –I, -II y –III

De este modo a continuación se presenta la relación en los rangos de confort obtenidos con el software y hardware de medición de HOBO ONSET de manera gráfica.

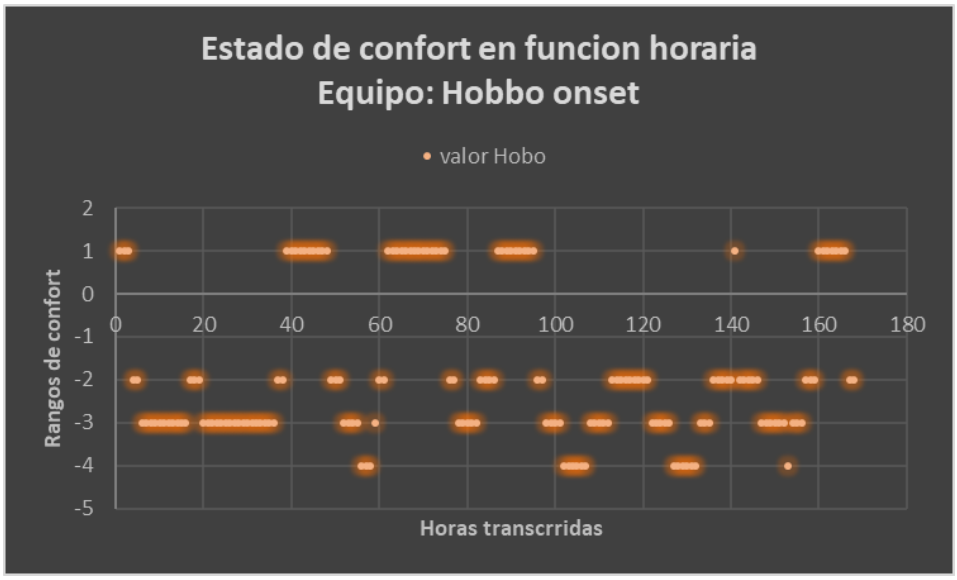


Grafico 6.7: Estados de confort obtenidos con medición de sistema HOBO ONSET

Fuente: Elaboración propia

El grafico realizado con sensor HOBO ONSET muestra al igual que el grafico realizado con las mediciones del hardware Arduino una clara fluctuación entre los estados de confort, mostrando claramente que el recinto en el cual se realizaron las mediciones no presenta estrategias de diseño pasivo, ya que pasa una gran cantidad de tiempo en categoría -2,-3 y-4 las cuales hablan de temperaturas de confort bajas.

6.2.2 Desviación entre los resultados de confort térmico adaptativo obtenidos.

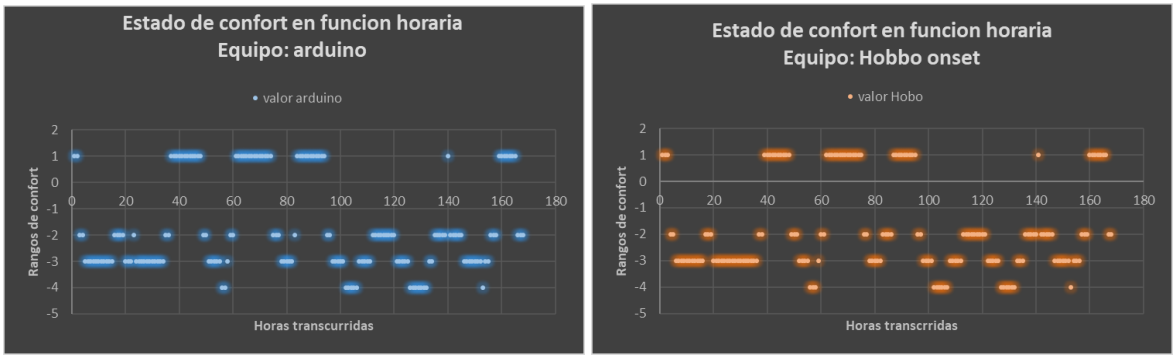


Grafico 6.8: Comparación; Estados de confort obtenidos con medición de sistema Arduino y HOBO

Fuente: Elaboración propia

Si bien las mediciones con el hardware ARDUINO tiene una tendencia similar a las mediciones realizadas con el hardware patentado de HOBO Onset, existen diferencias que se perciben en los gráficos, los cuales son detallados a continuación.

De un total de **193 datos** de categorías de confort analizados bajo la normativa EN-15251:

Existe un total de **31 datos de categorías discordantes**, lo cual significa que para el total de mediciones el hardware de ARDUINO arroja categorías diferentes a el hardware HOBO ONSET.

Esto corresponde a una **DESVIACION DE 16%** respecto a la tecnología patentada.

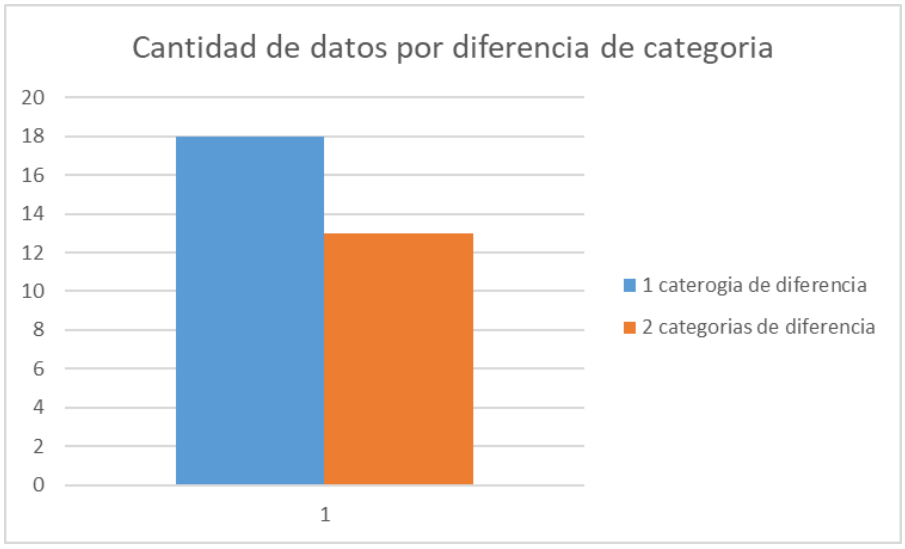


Grafico 6.9: Calculo de tendencia de categorías erradas

Fuente: Elaboración propia

1 categoria de diferencia	2 categorias de diferencia
18	13

Tabla 6.19: Calculo de tendencia de categorías erradas

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que **de un total de 31 datos** que presentan desviación frente a los resultados obtenidos con el sistema patentado HOBO ONSET, un total de:

18 datos presentan 1 categoría de desviación.

13 datos presentan 2 categorías de desviación.

De este modo se presenta una tendencia a mostrar una desviación de 1 categoría de diferencia en el análisis bajo la normativa UNE-EN-15251, mientras que, al analizar la totalidad de datos, podemos distinguir que no existe una tendencia clara ya que este solo representa un 58% de los datos desviados, mientras que los que caben dentro de 2 categorías de desviación representan el 42%.

ANALISIS SITUACION PROPUESTA

A continuación, se presentará un breve análisis de desviación de categoría utilizando como sensor exterior el sensor HOBO ONSET, dado que el sensor exterior de Arduino presento Fallas y utilizando como sensor interior el Sensor Arduino, de este modo se planteará un escenario donde se simula un correcto funcionamiento del sensor exterior.

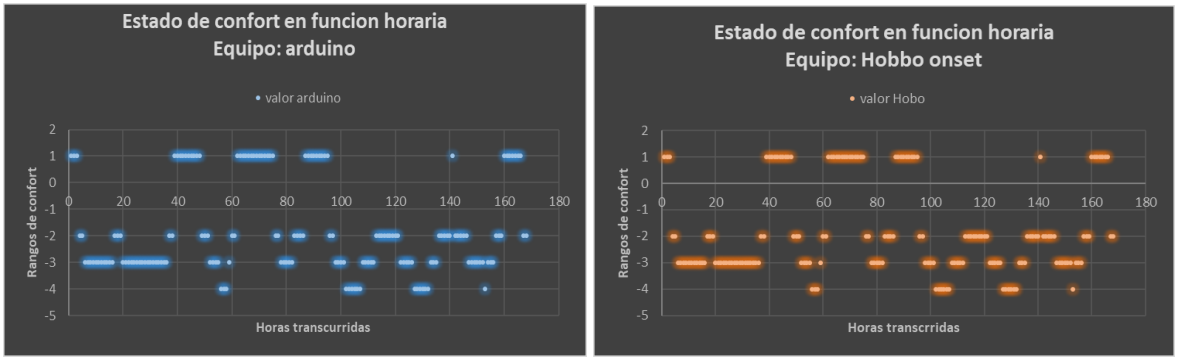


Grafico 6.10: Comparación; Estados de confort obtenidos con medición de sistema Arduino interior y HOBO como sensor exterior, versus sistema HOBO interior y exterior

Fuente: Elaboración propia

Es posible observar que los datos poseen un 100% de correlación entre ellos situación que es más clara al momento de observar las planillas de resultados, donde claramente no se observan desviaciones de los datos, siendo igual a 0%

HOBO TOTAL	ARDUINO TOTAL
1	1
1	1
1	1
-2	-2
-2	-2
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-2	-2
-2	-2
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-3	-3
-2	-2
-2	-2
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1

1	1
1	1
1	1
1	1
-2	-2
-2	-2
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-2	-2
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
-2	-2
-2	-2
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-2	-2
1	1
-2	-2
-2	-2

-2	-2
-2	-2
-2	-2
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-4	-4
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-2	-2
-2	-2
-2	-2
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
-2	-2
-2	-2
-2	-2
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-4	-4
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
-3	-3
1	1
1	1
1	1

Tabla 6.20: Calculo categorías de confort con medición Arduino interior HOBO exterior (fila derecha), versus sistema HOBO interior y exterior (fila izquierda)

Fuente: Elaboración propia

6.2.3 Factibilidad de implementación de ambas tecnologías desde una perspectiva monetaria.

Uno de los puntos más importantes de la presente investigación es el costo de implementación, dado que ambos sistemas no presentan similares costos en la implementación para la medición de recintos.
De este modo se analizarán las curvas de crecimiento económico de implementación de ambos sistemas en un recinto, este estudio de costo de implementación, se realizará mediante las normas internacionales de medición, para la implementación de un sistema normativo se ocupara la normativa internacional ISO7726:1998(E), la cual posee normativas internacionales tales como UNE-EN ISO 7726:2002 y la normativa EN ISO 7726:2001

La normativa propuesta corresponde a: "Ergonomía de los entornos térmicos, instrumentos para medir cantidades físicas.", por lo que la presente normativa a la cual se hará referencia responde a las necesidades de medición normando la utilización de los instrumentos para dicha función.

"Si no se puede estimar la distribución de ocupantes, entonces la locación deberá realizarse según de la siguiente forma:

- en el centro de la zona o sala.

- 1 mt hacia adentro desde el centro de cada una de las paredes de la habitación. en el caso de muros exteriores con ventanas, la ubicación de medición debe ser de 1 m hacia adentro desde el centro de la ventana más grande.

en cualquier caso, las mediciones se tomarán en lugares donde se estiman u observan los valores más extremos de los parámetros térmicos. los ejemplos más comunes son cercanos a ventanas, salida de difusores, esquinas y entradas. las mediciones deben hacerse lo suficientemente lejos de los límites de la zona ocupada y de cualquier superficie para permitir la circulación adecuada alrededor del sensor de medición con las posiciones que se describen a continuación" (International Organization for Standardization, 1998).

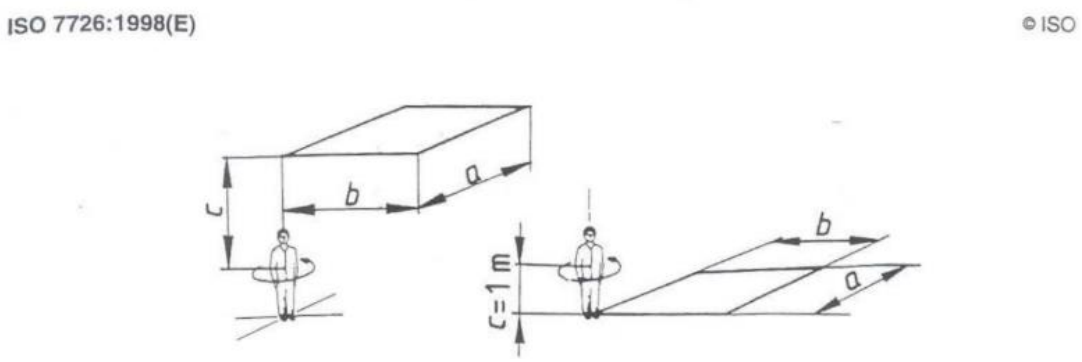


Figura 6.4: Ubicación de sensores en situaciones de ocupantes de pie

Fuente: ISSO 7726:1998

Como se muestra en la Figura 6.4, la normativa ISSO 7726:1998 hace referencia a la medición de espacios donde las personas comúnmente se mantienen de pie, en cuyo caso, los sensores

deberán colocarse a una altura representativa de 1m sobre el nivel de piso terminado, altura que representa la altura de temperatura media del espacio para zonas con personas de pie.

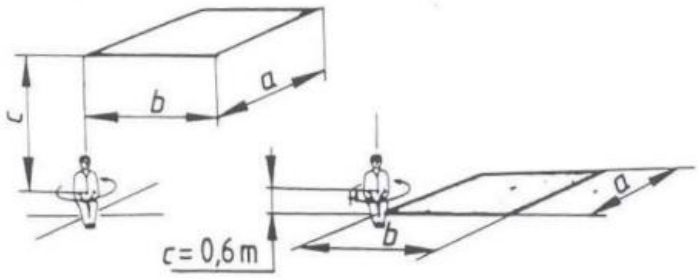


Figura 6.5: Ubicación de sensores en situaciones de ocupantes sentados

Fuente: ISSO 7726:1998

Como se muestra en la Figura 6.5, la normativa ISSO 7726:1998 hace referencia a la medición de espacios donde las personas comúnmente se mantienen de sentadas de manera sedentaria, donde los sensores deberán colocarse a una altura representativa de 0.6 m sobre el nivel de piso terminado, altura que representa la altura de temperatura media del espacio para zonas con personas de sentadas.

Como se muestra en las figuras 6.4 y 6.5, en ambas se visualiza que la colocación de sensores para la medición de recintos deberá ser a una distancia de los muros, distancia equivalente a 1mt de los paramentos verticales, esto con el fin de no recibir temperatura radiante proveniente de muros.

Es por esto que la evaluación económica se realizara pensando en recintos estándar, donde se pensaran espacios de 3x3 mt con sensores colocados en su centro y uno en el exterior del recinto para poder medir la temperatura exterior del edificio, cumpliendo con los distanciamientos mínimos propuestos por la normativa internacional para interiores, de esta forma se pensara la implementación de sistemas para un recinto único, luego dos recintos de manera simultánea, hasta llegar a la medición de 10 recintos.

Para este cometido se requerirá la adquisición de cotizaciones reales representativas de los productos a utilizar, por ende, se realizan cotizaciones vía internet en tiendas especializadas de dichos componentes para ratificar valores y poder implementar mediante planilla Excel la evaluación de la curva de crecimiento económico de cada uno

COTIZACION Nº 7537

Señor(es):		Fecha:	08-03-2018
R.U.T.:		Atención a:	
Giro:		Email contacto:	
Dirección:		Fuente de Solicitud:	Form.contacto web
Comuna:	**Ciudad:**	Vendedor:	Marcello Vasquez

Cotizacion informativa sin despacho ni instalacion.

Item	Código	Descripción	Cant.	P. Unitario	Valor Total
1	MX2304	Registrador Bluetooth Temperatura (sonda externa) - Configuración y descarga a través de Bluetooth. - Rango de transmisión: 30 metros línea vista (máximo) - Carcasa compacta, resistente a la intemperie. - Utiliza aplicación gratuita HOBOMobile para descarga de datos.	1,00	203,00	203,00
2	MX1101	Registrador Bluetooth Temperatura, Humedad Relativa. Para configuración y revisión de datos utiliza aplicación gratuita HOBOmobile.	1,00	189,00	189,00
3	HOBOmobile	Aplicación para Registradores HOBO MX (Descarga desde iTunes o Google Play) Requerimientos del Sistema: - iOS 9.2, 9.3 y 10.x - Android 4.4, 5.0, 5.1 ó 6.0.1 - Bluetooth 4.0	1,00	0,00	0,00

CONDICIONES COMERCIALES	
1.- VALIDEZ DE LA OFERTA:	20 días
2.- PLAZO DE ENTREGA:	20 días
3.- FORMA DE PAGO:	Contado
4.- GARANTÍA:	12 meses
5.- TIPO MONEDA:	DOLAR

Descuento	$	0,00
Neto:	$	392,00
19 % I.V.A.	$	74,48
Total :	$	466,48

Observaciones:
1. Para revisar las Condiciones Comerciales de la presente cotización, favor ingresar al siguiente link: http:/ e.cl/politicas_comerciales/
2. Se requiere aprobación de presupuesto a través de Orden de Compra, la cuál debe ser enviada a e-mail ventas@ .cl.
3. No incluye instalación de equipos.
4. Manuales de todos los ítems mencionados en el presupuesto sólo disponibles en inglés.

Figura 6.6: Cotización Hobo con empresa de precio estándar de mercado (empresas tachadas).

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la valoración económica el primer paso luego de definir la metodología de evaluación (implementación de norma ISSO726 para planeamiento de distribución espacial, y metodología de evaluación económica en base a curvas de crecimiento económico) es definir los equipos y sus respectivas cotizaciones en el mercado actual.

La figura 6.6 nos muestra una cotización con fecha 8/3/2018 realizada con el propósito de este estudio, donde se cotizan 2 tipos de HOBO, uno diseñado especialmente para ambientes Exteriores el cual es el sensor Hobo MX2304 con un valor de mercado actual de $203.000 sin I.V.A., sin embargo, este sensor se ve limitado a solo su uso en espacios exteriores, por lo que se procede a cotizar el modelo HoboMX1101, el cual posee un valor de $189.000 sin I.V.A. y puede

utilizarse en recinto interiores y exteriores, por lo que se procede a utilizar la alternativa de sensor MX1101 para la presente evaluación.

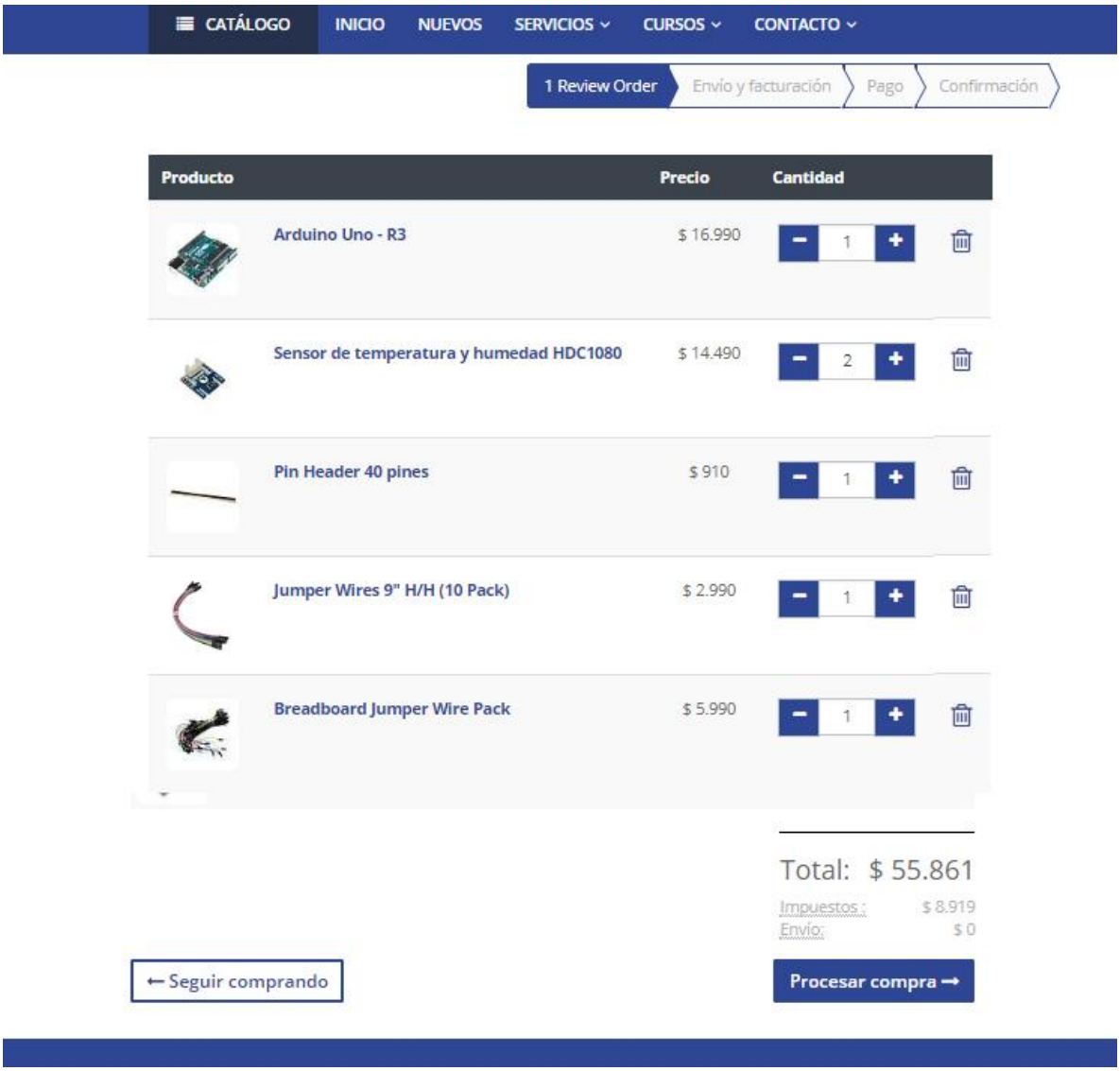


Figura 6.7: Cotización Arduino y componentes con empresa de precio estándar de mercado (empresas tachadas).

Fuente: Elaboración propia

Referente a la cotización para la implementación de la plataforma Arduino como mecanismo de medición de temperaturas, resulta diferente a la cotización elaborada para el sistema patentado tal como se visualiza en la Figura 6.7, ya que en este caso se debe armar los circuitos y se debe realizar la cotización de los elementos por separado. Sin embargo esto hace que mediante un microcontrolador de Arduino seamos capaces de manipular múltiples sensores, ya que la única limitante es el espacio de almacenaje de códigos de la placa microcontroladora.

Es decir, Arduino para poder realizar las mediciones de dos sensores de manera simultánea utiliza el 16% de su porcentaje de almacenamiento en memoria aproximadamente, por lo que una placa microcontroladora de Arduino (en este caso Arduino Uno) es capaz de controlar solo 12 sensores antes de necesitar la implementación de lectores micro SD para poder almacenar mayores líneas de código.

De esta manera una medición de un recinto en el cual se tengan 3 sensores interiores y un sensor exterior es posible realizarlo mediante una placa microcontroladora de Arduino de manera simultánea.

Así también es posible medir más de un recinto mediante la utilización de una misma placa microcontroladora mediante la utilización de jumper extensores, donde la cantidad requerida variara del largo de los recintos a cubrir, dado que cada cable posee un largo aproximado de 10 cm, por lo que para separarse 1 metro de la pared se requerirán 10 jumper extensor por pin de conexión por lo que dado que el sensor utilizado posee 4 pines de conexión se requiere un total de 40 jumper extensores para salvar la distancia mencionada. Para cubrir 2 recintos cada uno de 3x3 mt donde en cada recinto se colocará un sensor en su interior, para la utilización de una única placa Arduino se requerirán un mínimo de 20 jumper extensores por pin de conexión pensando que el microcontrolador se ubicara en medio de ambos sensores.

Dado que los sensores HDC1080 poseen un total de 4 pines de conexión se requiere un total de 80 Jumper de extensión para los sensores interiores y mínimo de 8 jumper extensores para lograr medir exterior suponiendo que la placa Arduino se encuentre cercano a una ventana y se encuentre en medio de ambos sensores interiores.

Finalmente tenemos que la cotización responde a un valor referencial dado que uno de los elementos que puede variar ampliamente en la implementación de sistemas Open Source es la utilización de jumper de conexión.

Sin embargo, se procede a generar un valor de manera cercana a la realidad dado que en todos los casos se pensará que la placa microcontroladora se ubicará cercano a ventanas para la utilización de 12 jumper para sensor exterior equivalente a una distancia de 30 cm entre la placa Arduino y el sensor exterior HDC1080, y la utilización de 40 jumper extensores en el caso de medir solo un ambiente interior y un total de 80 jumper extensores en el caso de medir 2 recintos. Dado que se evaluará pensando en que en condiciones favorables la placa Arduino se situará cercano a ventanas y a una distancia media entre ambos sensores interiores ubicados cada uno en un recinto de dimensiones 3x3 mt

A continuación, se procede a la evaluación monetaria de los sistemas patentados, mediante la utilización de un Sensor Hobo por recinto, para esto se manifiesta la utilización de solo 1 sensor en exterior, ya que se piensa en mediciones de un edificio con diferentes ambientes de manera simultánea, es por esto que las condiciones de exterior son idénticas entre ellos, de este modo la variación se producirá específicamente en la cantidad de sensores interiores dependiendo únicamente de la cantidad de ambientes a evaluar dado que se realiza la medición con 1 sensor por ambiente.

EVALUACIÓN 1 AMBIENTE		
Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %
VALOR	189000	19
	Cantidad	Valor
Sensores Exterior	1	189000
Sensores Interior	1	189000
Iva	19,00 %	71820
Total		449820

EVALUACIÓN 2 AMBIENTES		
Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %
VALOR	189000	19
	Cantidad	Valor
Sensores Exterior	1	189000
Sensores Interior	2	378000
Iva	19,00 %	107730
Total		674730

EVALUACIÓN 3 AMBIENTES		
Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %
VALOR	189000	19
	Cantidad	Valor
Sensores Exterior	1	189000
Sensores Interior	3	567000
Iva	19,00 %	143640
Total		899640

EVALUACIÓN 4 AMBIENTES		
Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %
VALOR	189000	19
	Cantidad	Valor
Sensores Exterior	1	189000
Sensores Interior	4	756000
Iva	19,00 %	179550
Total		1124550

EVALUACIÓN 5 AMBIENTES		
Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %
VALOR	189000	19
	Cantidad	Valor
Sensores Exterior	1	189000
Sensores Interior	5	945000
Iva	19,00 %	215460
Total		1349460

EVALUACIÓN 6 AMBIENTES		
Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %
VALOR	189000	19
	Cantidad	Valor
Sensores Exterior	1	189000
Sensores Interior	6	1134000
Iva	19,00 %	251370
Total		1574370

EVALUACIÓN 7 AMBIENTES		
Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %
VALOR	189000	19
	Cantidad	Valor

EVALUACIÓN 8 AMBIENTES		
Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %
VALOR	189000	19
	Cantidad	Valor

Sensores Exterior	1	189000	Sensores Exterior	1	189000
Sensores Interior	7	1323000	Sensores Interior	8	1512000
Iva	19,00 %	287280	Iva	19,00 %	323190
Total		1799280	Total		2024190

EVALUACIÓN 9 AMBIENTES			EVALUACIÓN 10 AMBIENTES		
Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %	Datos económicos	HOBO MX1101	I.V.A %
VALOR	189000	19	VALOR	189000	19
	Cantidad	Valor		Cantidad	Valor
Sensores Exterior	1	189000	Sensores Exterior	1	189000
Sensores Interior	9	1701000	Sensores Interior	10	1890000
Iva	19,00 %	359100	Iva	19,00 %	395010
Total		2249100	Total		2474010

Tabla 6.21: Evaluación económica de 10 recintos con la utilización de 1 sensor HOBO por espacio

Fuente: Elaboración propia

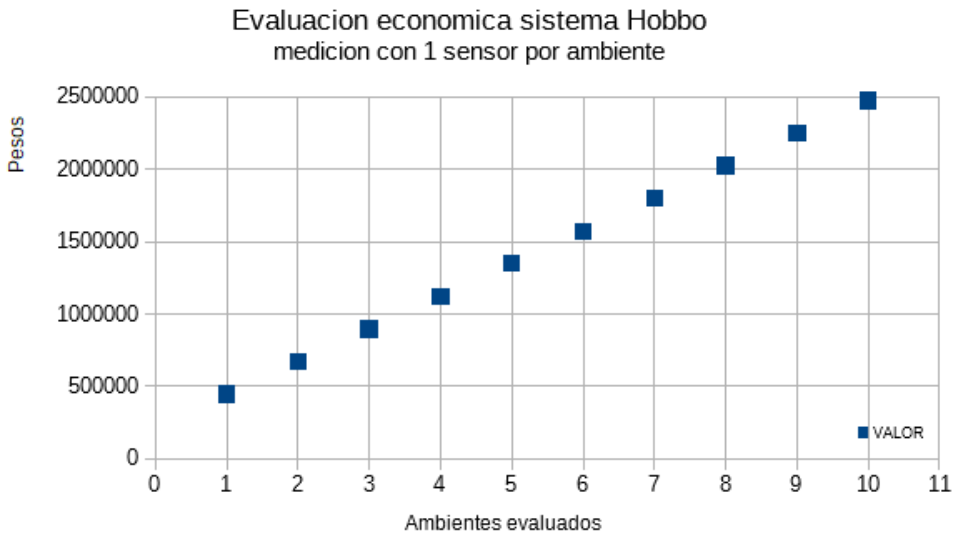


Grafico 6.11: Curva de crecimiento económico implementación Hobo

Fuente: Elaboración propia

La anterior evaluación nos muestra como el gasto económico realizado para la implementación de sistemas patentados presenta un aumento exponencial por ambiente evaluado, donde el primer ambiente resulta en un primer amplio, significando una inversión considerable para lograr medir los 10 recintos de la evaluación.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por la evaluación económica realizada para la medición de uno a diez ambientes, donde primeramente se debe explicar que, si bien un

Arduino Uno es capaz de medir los diez ambientes, la evaluación analiza un Arduino con un máximo de capacidad de 2 ambientes. Dado que no todos los Arduino poseen la misma capacidad por lo que se abre a la posibilidad de la utilización de otro modelo de Arduino de menor capacidad como pudiese ser el modelo de Arduino Nano u otros, por lo que para la evaluación de 1 a 2 ambientes se utiliza un microcontrolador, de 3 a 4 se utilizan 2 microcontroladores, de 5 a 6 se utilizan 3, de 7 a 8 se utilizan 4 y de 9 a 10 se utilizaran 5, de esta manera se utilizara el valor de un Arduino de valor promedio como es el de Arduino Uno

1 AMBIENTE		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	1	16990
Pin Header	1	910
Jumper conector	22	6578
Breadboard Jumper	22	6600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	1	16990
Iva	19,00 %	11886,02
Total		43366,02

2 AMBIENTES		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	1	16990
Pin Header	1	910
Jumper conector	42	12558
Breadboard Jumper	42	12600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	2	33980
Iva	19,00 %	17390,32
Total		65860,32

3 AMBIENTES		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	2	33980
Pin Header	1	910
Jumper conector	62	18538
Breadboard Jumper	62	18600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	3	50970
Iva	19,00 %	26122,72
Total		91582,72

4 AMBIENTES		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	2	33980
Pin Header	1	910
Jumper conector	82	24518
Breadboard Jumper	82	24600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	4	67960
Iva	19,00 %	31627,02
Total		114077,02

5 AMBIENTES		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	3	50970
Pin Header	1	910
Jumper conector	102	30498
Breadboard Jumper	102	30600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	5	84950
Iva	19,00 %	40359,42
Total		139799,42

6 AMBIENTES		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	3	50970
Pin Header	1	910
Jumper conector	122	36478
Breadboard Jumper	122	36600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	6	101940
Iva	19,00 %	45863,72
Total		162293,72

7 AMBIENTES		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	4	67960
Pin Header	1	910
Jumper conector	142	42458
Breadboard Jumper	142	42600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	7	118930
Iva	19,00 %	54596,12
Total		188016,12

8 AMBIENTES		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	4	67960
Pin Header	1	910
Jumper conector	162	48438
Breadboard Jumper	162	48600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	8	135920
Iva	19,00 %	60100,42
Total		210510,42

9 AMBIENTES		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	5	84950
Pin Header	1	910
Jumper conector	182	54418
Breadboard Jumper	182	54600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	9	152910
Iva	19,00 %	68832,82
Total		236232,82

10 AMBIENTES		
Datos económicos	VALOR UNITARIO	I.V.A %
Arduino Uno	16990	19
Sensor HDC1080	14490	19
Pin Header	910	19
Jumper conector	299	19
Breadboard Jumper	300	19
	Cantidad	Valor
Arduino Uno	5	84950
Pin Header	2	1820
Jumper conector	202	60398
Breadboard Jumper	202	60600
Sensores Exterior	1	14490
Sensores Interior	10	169900
Iva	19,00 %	74510,02
Total		258900,02

Tabla 6.22: Evaluación económica de 10 recintos simultáneos con la utilización de un sensor código abierto por espacio

Fuente: Elaboración propia

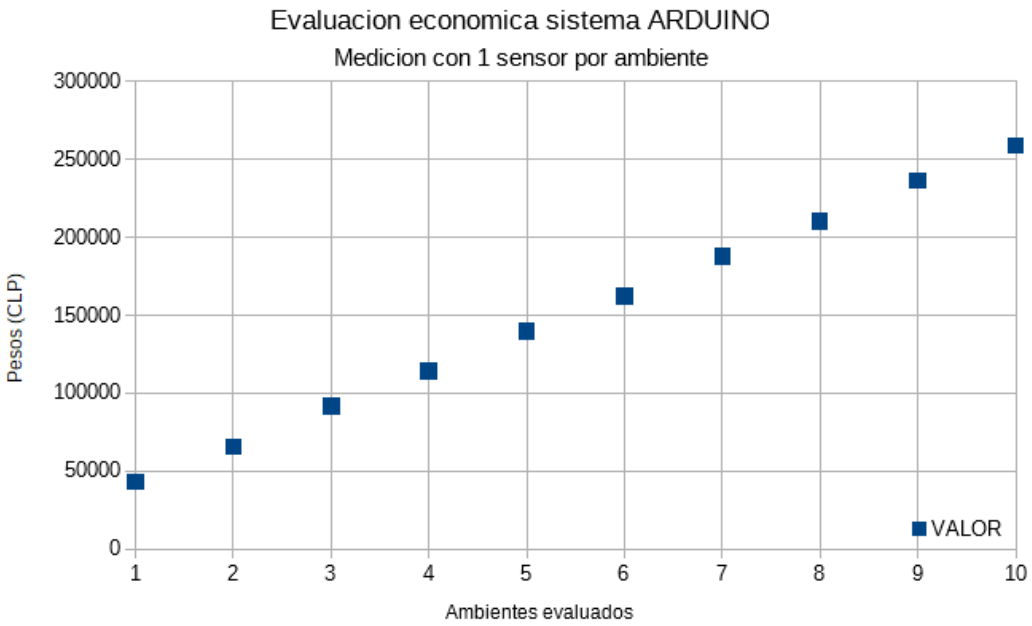


Grafico 6.12: Curva de crecimiento económico implementación Arduino

Fuente: Elaboración propia

Mediante la evaluación de la implementación de Sistemas de código libre mediante la plataforma Arduino, es posible observar que al igual que los sistemas patentados posee una función exponencial de crecimiento, siendo la primera inversión, la más amplia. Sin embargo, no se presenta como una función exponencial pareja, dada que cada 2 ambientes se realiza una inversión dispar, aumentando el gasto por la implementación de otro microcontrolador Arduino dada la posibilidad de utilización de otros modelos de microcontroladores de Arduino como se ha mencionado previamente.

A continuación, se procede a comparar la utilización de ambos equipos, para dimensionar el crecimiento económico de cada uno pensado para la evaluación de un edificio en el cual se utilizarán varios sensores para la medición de diferentes espacios similares en su interior de manera simultánea.

Hobbo	Arduino	Diferencia Costos de implementación
449820	43366,02	406453,98
674730	65860,32	608869,68
899640	91582,72	808057,28
1124550	114077,02	1010472,98
1349460	139799,42	1209660,58
1574370	162293,72	1412076,28
1799280	188016,12	1611263,88
2024190	210510,42	1813679,58
2249100	236232,82	2012867,18
2474010	258900,02	2215109,98
Valor realizado en pesos Chilenos (CLP)		

Tabla 6.23: Comparación evaluación económica de 10 recintos entre sistemas Hobo y sistemas Arduino

Fuente: Elaboración propia

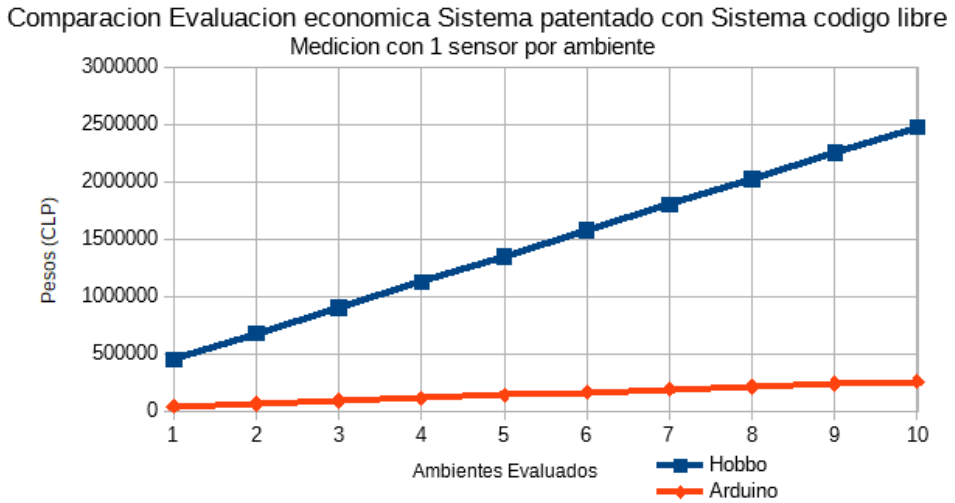


Grafico 6.13: Curva de crecimiento económico Comparativo entre sistemas para 10 ambientes.

Fuente: Elaboración propia

Mediante la presente evaluación podemos dimensionar la diferencia de costos, donde el margen de diferencia existente entre ambos sistemas de medición, al tener un factor exponencial diferente entre ellos, resulta en un aumento de la brecha económica de implementación.

En primer lugar, podemos observar que el costo inicial de Arduino corresponde a $43366 Pesos chilenos, incluyendo I.V.A., mientras que el costo de implementación del sistema patentado HOBO MX1101 corresponde a $449820 pesos chilenos. Por lo que la implementación de un sistema de código libre para la medición de un espacio corresponde al 9,64% del costo de inversión para la medición de un recinto del sistema patentado con la utilización de HOBO MX1101 el cual posee precio representativo entre los modelos HOBO medidores únicamente de temperatura y humedad, ya que cabe destacar que existen otros modelos de HOBO que a su vez son capaces de medir iluminación a la par que temperatura y Humedad.

En segundo lugar, dado que se ha realizado la medición económica para 10 recintos es posible extrapolar los resultados para una cantidad mayor de ambientes a medir, de esta manera podemos observar que el costo de implementación de la medición de un recinto mediante sistemas patentados es equivalente a la implementación de la evaluación de 20 recintos aproximadamente con sistemas de código libre, dado que la medición de 1 recinto con el equipo HOBO MX1101 corresponde a un valor de $449820 pesos chilenos, mientras que para la medición de 16 ambientes con sistemas de código libre correspondería a una inversión de $446916 pesos chilenos.

Mediante el punto 2 del análisis es posible verificar que el costo de implementación de ambos sistemas posee una amplia diferencia, volviendo al sistema de código libre Arduino un sistema viable de implementación para el uso de dicha plataforma, considerando a su vez la maleabilidad del mismo sistema. Ya que, si bien en este estudio se realiza mediante la implementación únicamente de sensores de temperatura y humedad. El hardware de Arduino es capaz de realizar más funciones adicionales de manera simultánea, como puede ser domotización de espacios bajo estos parámetros, medición de más elementos o la función que se desee programar con el debido sensor que se le añada.

Es por esto que la plataforma Arduino se considera una plataforma versátil, y cada día posee una comunidad más grande que la utiliza, sin embargo, desde el punto de vista resulta rentable su utilización, sin embargo, aún no está demostrado que el procesamiento de Arduino sea eficaz y capaz de soportar diversos ambientes de medición de manera continua y simultanea

Capítulo 7. Conclusiones

A continuación, se presentarán de manera detalladas las conclusiones referentes a los capítulos de implementación y resultados, dado que la implementación está referida a la programación del sistema de código libre y sus conexiones, para una comprensión cabal de la conclusión, resulta de gran apoyo la sección de Anexos

En relación a la metodología empleada para este estudio se puede concluir que existen varias ventajas y desventajas en su utilización y pueden ser abordadas desde diferentes puntos de vista. Así es como podemos analizar su aplicabilidad en escenarios reales, la conciencia sobre cómo obtener los datos que genera la creación de los propios elementos de medición sobre los investigadores o también factores económicos.

7.1 Ventajas

Mediante el presente estudio podemos comprender una serie de ventajas sobre la utilización de tecnologías de código abierto, de esta forma podemos ver que los modelos realizados con código libre generan una conciencia sobre los factores a analizar y como son las limitaciones que tendrán al momento de realizarlas.

La creación de estudios mediante tecnologías de código libre reduce los costos de implementación en un mínimo de 16 veces frente a equipos patentados como lo pueden ser los HOBO ONSET, y una reducción mayor frente a equipos como los DELTHA OHM, los cuales poseen un elevado coste de implementación.

Los estudios mediante tecnologías de código abierto abren la posibilidad al investigador a realizar equipos a su medida con posibilidad de ampliación de los sistemas dependiendo la necesidad inmediata de la investigación a bajos costos versus equipos patentados requeridos para una investigación similar.

7.2 Desventajas

La realización de estudios mediante sistemas de código libre requiere una inversión de tiempo referente al conocimiento de implementación y conexión de los equipos. Como se puede observar en Anexo 1 la implementación del equipo requiere un mínimo de conocimiento de electrónica y conocimientos básicos en programación como se puede observar en Anexo 2, para lograr implementar de manera correcta los códigos y poder compilarlos sin error en placas microcontroladoras.

Finalmente, una desventaja respecto a los equipos patentados es que la implementación de equipos de código abierto requiere la validación de los equipos a utilizar, para evitar posibles fallos de medición, por lo cual se vuelve una plataforma que puede resultar muy confiable si es verificada.

7.3 Propuestas de trabajos futuros.

Como trabajo futuro, existe la necesidad de ampliar el campo de aplicación de los resultados obtenidos a otros parámetros de medición, además de la posibilidad de controlar elementos mediante los datos obtenidos, con el fin de enriquecer el conocimiento entregado por este estudio:

- Incorporando otro tipo de sensores como pueden ser mediciones de luminosidad de ambientes o velocidad de aire, además de la fabricación de medidor de temperatura globo, con el fin de lograr medir una mayor cantidad de parámetros establecidos con el método FANGER.

- Incorporando otras tecnologías en la placa microcontroladora como la implementación de servomotores o relés para el manejo de aires acondicionados o el manejo de sistemas de cerramiento de recintos, con el fin de lograr espacios controlados de manera inteligente y eficiente.

También se propone levantar una base de datos con las mediciones obtenidas, ya que se vuelve indispensable la posibilidad de controlar de manera remota los espacios y las mediciones que podemos obtener mediante los sistemas de código libre, mediante la incorporación de módulos de wifi o Ethernet. Además, es necesario ampliar el estudio de costo y beneficio a través de un análisis financiero que considere factores como los valores residuales producidos por la implementación de los sistemas de código abierto, como a su vez el costo beneficio de su implementación en diferentes tipos de recintos, ya que no posee el mismo beneficio edificios con destino hospitalario como un edificio con destino de vivienda, para así identificar de manera más precisa la rentabilidad frente a las demás tecnologías patentadas del mercado.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

Arduino, Homepage: http://arduino.cc.

Ali, A. S., Zanzinger, Z., Debose, D., & Stephens, B. (2016). Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. *Building and Environment*, *100*, 114–126. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2016.02.010

Castejón, E. (1983). Documentación NTP 74 : Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación. *Notas Técnicas de Prevención. INSHT*, 1–14.

CEN. española, UNE-EN ISO 7730:2006 § (2008).

Christian Albornoz V., Rolando Vilasau D., J. A. L. (n.d.). Confort térmico en ambientes laborales.

Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) | Data. (n.d.). Retrieved May 30, 2018, from https://datos.bancomundial.org/indicador/eg.use.elec.kh.pc

Engineers American Society of Heating, R. and A.-C. (2013). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

Fanger, P. O., Ipsen, B. M., Langkilde, G., Olesen, B. W., Christensen, N. K., & Tanabe, S. (1985). Comfort Limits for Asymmetric Thermal Radiation. *Energy and Buildings*, *8*, 225–236. Retrieved from https://ezproxy.ubiobio.cl:2189/0378778885900064/1-s2.0-0378778885900064-main.pdf?_tid=dc081003-75b2-431e-a803-21683e7a7af9&acdnat=1522708360_00fc6f8c9821178c0169f8b59861849f

Faugel, H., & Bobkov, V. (2013). Open source hard- and software: Using Arduino boards to keep old hardware running. *Fusion Engineering and Design*, *88*(6–8), 1276–1279. https://doi.org/10.1016/J.FUSENGDES.2012.12.005

Givoni, B., Noguchi, M., Saaroni, H., Pochter, O., Yaacov, Y., Feller, N., & Becker, S. (2003). Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, *35*(1), 77–86. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00082-8

International Organization for Standardization. (1998). ISO 7726:1998. Retrieved June 21, 2018, from https://www.techstreet.com/standards/iso-7726-1998?product_id=41727

Li, J., Li, H., Ma, Y., Wang, Y., Abokifa, A. A., Lu, C., & Biswas, P. (2018). Spatiotemporal distribution of indoor particulate matter concentration with a low-cost sensor network. *Building and Environment*, *127*, 138–147. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2017.11.001

MARTÍNEZ CASTRO, D. (2011). Metodología de diseño para minimizar el consumo de potencia y los retrasos en redes inalámbricas de sensores y actuadores con retrasos acotados, 135. Retrieved from http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:METODOLOGÍA+DE+DISEÑO+PARA+MINIMIZAR+EL+CONSUMO+DE+POTENCIA+Y+LOS+RETRASOS+EN+REDES+INALÁMBRICAS+DE+SENSORES+Y+ACTUADORES+CON+RETRASOS+ACOTADOS#0

Mesas-Carrascosa, F. J., Verdú Santano, D., Meroño, J. E., Sánchez de la Orden, M., & García-Ferrer, A. (2015). Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture. *Biosystems Engineering*, *137*, 73–83. https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2015.07.005

Monitoreo energético en los laboratorios de la Universidad de las Ciencias ...: EBSCOhost. (n.d.). Retrieved June 2, 2018, from http://ezproxy.ubiobio.cl:2120/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=e099a764-dede-43da-8fb5-f24b2e0baec8%40sessionmgr4007

Olesen, B. W. (n.d.). Thermal Environments. Retrieved from https://www.healthyheating.com/Thermal_Comfort_Working_Copy/downloads/Thermal Comfort.pdf

PASCUAL ROMÁN, N. (2015). La eficiencia energética en el uso de la vivienda : factores incidentes. Retrieved from https://riunet.upv.es/handle/10251/49409

LOTERSZTAIN I. (1970). "Condensación de humedad en viviendas", Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina.

Capítulo 9. Anexos

En el siguiente apartado de la tesis se procederá a enseñar la información correspondiente al armado realizado para el sensor de código abierto, gráficos y tablas no enseñadas en el análisis de resultados, debido a la extensión que estas presentan y la falta de relevancia como elemento enseñable, siendo estos de vital importancia para lograr construir los datos previamente enseñados en los apartados anteriores.

Es por esto que a continuación se procederá a mencionar la información en los respectivos anexos que prosiguen.

Cabe mencionar que los anexos presentados a continuación, responden a una necesidad de comprensión a cabalidad de la presente investigación, siendo datos de menor relevancia los contenidos que se presentaran en los siguientes anexos, pero representan una fuente importante de conocimiento sobre la construcción de la presente investigación.

De esta manera se presentará un breve resumen de contenidos de los anexos a continuación:

Anexo 1:

Este anexo contiene toda la información acerca del armado de Hardware de código abierto realizada en la presente investigación, desde conexiones de sensores al armado de la estación de medición final, con la cual se realizó la investigación.

Anexo 2:

El presente anexo contiene toda la información relevante para el entendimiento de la configuración del software de Arduino, repasando brevemente un resumen de código utilizado en la Tesis, de este modo se presenta información que ayuda a entender cómo se recolectaron los datos, y como fueron procesados posteriormente mediante los softwares.

Anexo 3:

El Anexo 3 hace referencia a todos los datos obtenidos minuto a minuto de temperatura mediante el software y hardware de código abierto, de una manera gráfica, ya que, la colocación de los datos duros resulta de difícil comprensión y visualización. Se presentan los resultados obtenidos directamente de los sensores a modo de graficar lo previamente señalado en la investigación, comparándolo con una gráfica aleatoria extraída de las mediciones obtenidas mediante el sistema de HOBO ONSET.

9.1 Anexos 1

El presente anexo 1 se procederá a enseñar el armado y resultado final del sensor de código abierto Arduino utilizado para la presente investigación, el cual utilizo Arduino Uno, sensores hdc1080, una protoboard para la colocación del sensor en exterior, el cual no influyo en la muestra de resultados, dado que, al cambiar las conexiones entre sensor interior exterior, colocando el sensor interior en la protoboard este continuo con mediciones en decimales. También se procederá a enseñar el montaje final mediante la utilización de Arduino con raspberry Pi3 model B+, todo esto se realizará mediante las fotos realizadas en terreno.

En primera instancia se mostrarán fotos del montaje final real, para proceder luego a mostrar un esquema de ello para entender cabalmente.

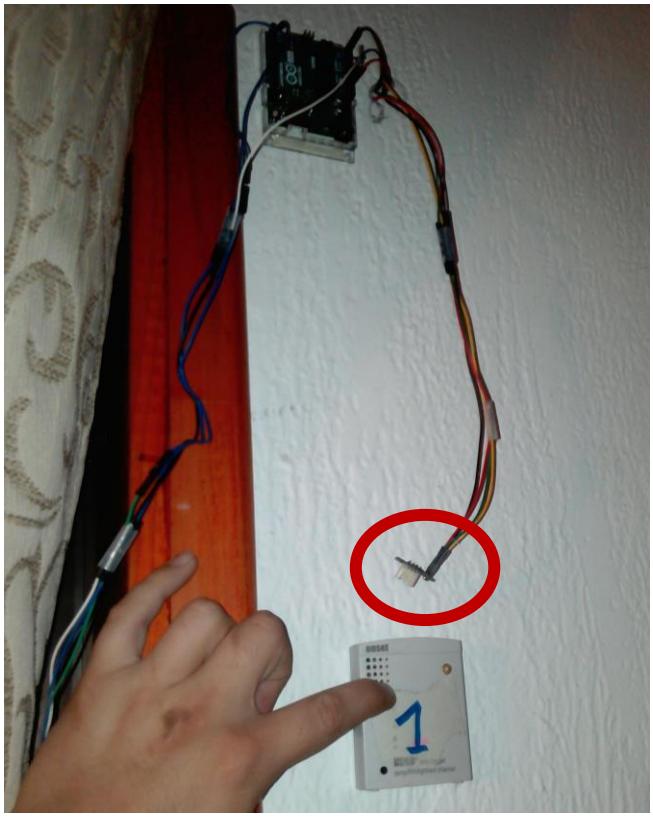


Figura Anexo1.1: Implementación de sensores Arduino y HOBO ONSET

Fuente: Elaboración propia

En la presente imagen se ve la colocación de los sensores interiores, donde en la zona superior de la pantalla se aprecia la ubicación de la placa microcontroladora Arduino Uno, con 2 set de cables que contienen el sensor interior y el sensor exterior ambos modelos HDC1080. Luego es posible visualizar bajo el sensor HDC1080 (círculo rojo) el sensor HOBO ONSET (circulo verde), el cual fue colocado de manera cercana al sensor de código abierto al igual que en el sector exterior.

A continuación, se presenta un esquema de armado de la estación de medición mediante código abierto.

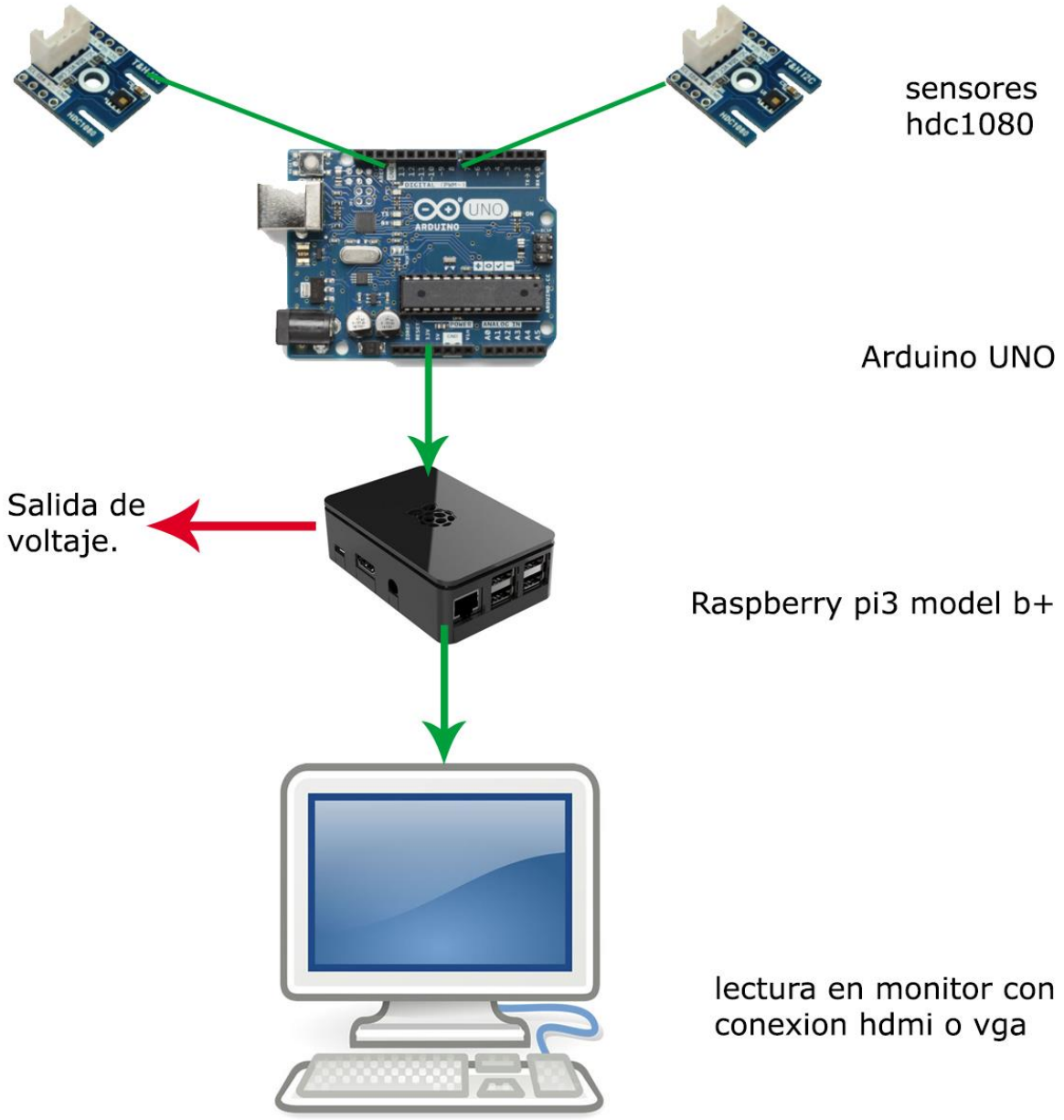


Figura Anexo1.2: Esquema de montaje de estación de medición.

Fuente: Elaboración propia

En la figura Anexo 1.2 se muestra el esquema de montaje descrito previamente en la investigación, mostrando la utilización de 2 sensores directamente conectados a una placa microcontroladora de Arduino, luego la conexión directa de la plataforma Raspberry la cual almaceno los datos obtenidos, y fueron vistos y manipulados directamente desde la raspberry mediante la conexión a una pantalla mouse y teclado.

Finalmente se procede a mostrar un esquema de conexión entre Arduino y los sensores HDC1080

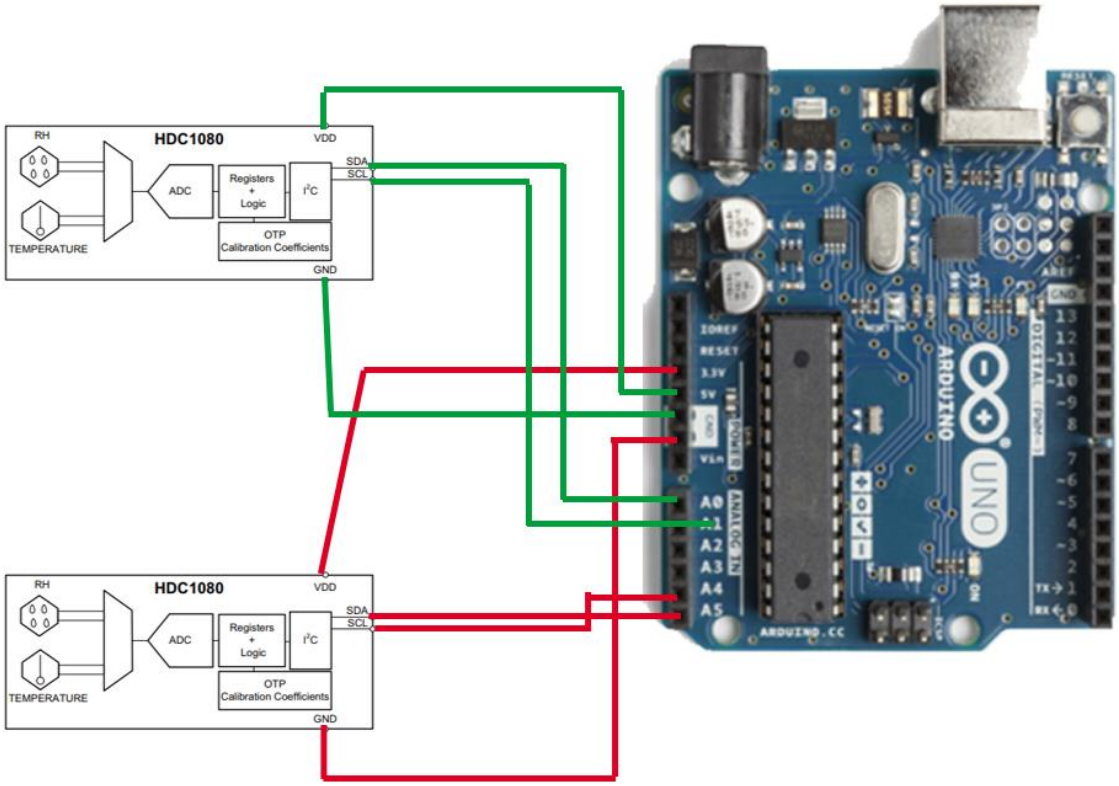


Figura Anexo1.3: Esquema de montaje de sensores a Arduino.

Fuente: Elaboración propia

La Figura Anexo1.3 muestra esquemática las conexiones requeridas para el funcionamiento de los sensores HDC 1080, los cuales son conectados a corrientes de Arduino de 5v y de 3.3v, además se conecta el sistema mediante los pines analógicos diferenciando los sistemas en pines opuestos del microcontrolador de Arduino, finalmente se genera la conexión GND (conexión a tierra) de manera sencilla sin la necesidad de conexión a una protoboard que sirva para aumentar conexiones ya que la placa microcontroladora Arduino cuenta con 3 conexiones de GND y 2 conexiones de voltaje.

De este modo se concluye el Anexo 1

9.2 Anexos 2

En el presente anexo se procederá a enseñar el lenguaje de programación utilizado para la configuración de los sensores Arduino Uno con HDC1080, explicando los comandos más relevantes y los que significan cada uno en la obtención de datos, de esta manera este apéndice servirá como apoyo al análisis de conclusiones de implementación de los sistemas de código abierto.

Expuesto el resumen de código de programación de Arduino para obtener datos de 2 sensores HDC1080 de manera simultánea, se procederá al análisis de este, con el fin de entender cabalmente cual es el alcance que posee la medición, referente principalmente a la obtención del dato minuto a minuto que luego será analizado mediante la ponderación horaria de los datos.

```
#include <Time.h>
#include <TimeLib.h>
#include <Wire.h>
#include "ClosedCube_HDC1080.h"


//    Para sensor HDC
//    VCC: 5V or 3V
//    GND: GND
//    DATA: 2

float pinhdc1080 = 2;
ClosedCube_HDC1080;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  setTime(00, 20, 0, 17, 02, 2018);   // Establecemos la fecha

  fecha = now();                  // Obtenemos la fecha actual

  hdc1080.begin(0x40);
}

void loop() {

  Serial.print("Temperatura interior,  ");
  Serial.print("T=, ");
  Serial.print(hdc1080.readTemperature());

  if ((err = hdc1080.read(pinhdc1080, &temperature, &humidity, NULL)) != hdc1080ErrSuccess) {

  Serial.print(", ");
  Serial.print("\tHora:, ");
  Serial.print(hour());
  Serial.print(":");
```

Serial.print(minute());
Serial.println(",");

delay(60000); }

Figura Anexo2.1: Seudocódigo de programación de Arduino

Fuente: Elaboración propia

Mediante el código expuesto fue programado el Hardware Arduino, sin embargo, el código expuesto representa una parte del código de programación, siendo la parte vital para la comprensión de los parámetros de medición, para la comprensión de esto se procederá a desglosar el código de programación para una lectura más sencilla, en primer lugar Arduino es posible incluir librerías que reducen el lenguaje de programación y que vienen prefabricadas ya sea por los desarrolladores de los elementos que se adicionan(como es el caso de los sensores) o también es desarrollada por programadores autónomos que aportan de esa forma a la comunidad que utiliza el hardware de Arduino. Estas librerías son rápidas de identificar, ya que comienzan mediante el siguiente comando:
#include < >, colocando al interior de los paréntesis el nombre de la librería a añadir, este proceso se realiza ya que la programación que se encuentra dentro de dichas librerías es de alta complejidad, por lo que los desarrolladores y la comunidad de personas que usan la plataforma optan por librerías desarrolladas por los fabricantes principalmente.

El código utilizado para la investigación cuenta con un total de 4 librerías, 2 de las cuales sirven como reconocimiento de la hora y fecha en la que se empiezan las mediciones, dado que Arduino no posee reconocimiento de estos datos, la tercera librería incluida sirve como funcionamiento base de todo el sistema, mientras que la cuarta corresponde a la programación de los sensores, en la cual se encuentran todas las formulas internas de programación para la obtención de temperatura y humedad. Un gran punto que cabe mencionar es que todas las librerías, al ser de código libre son modificables en su totalidad, por lo que se puede verificar las fórmulas utilizadas para la medición de temperatura, lo que incluye la interpretación de voltaje obtenido para la transformación en datos, aunque la presente investigación no realiza esta operación, dado que es de alta complejidad de programación.

Cabe mencionar que todos los escritos que provienen después de "//" no corresponden a líneas de comando, sino que corresponden a notas para el programador que sirven de recordatorios.

Por otra parte, la programación se divide principalmente en 2 etapas marcadas por los siguientes comandos:

void setup() { }

void loop() { }

En la cual las líneas de comandos escritas dentro del segundo paréntesis de VOID SETUP responden a la programación base que no se va a repetir de Arduino como es la obtención de la hora de inicio y el reconocimiento de librería. En el segundo comando VOID LOOP se encuentran

todas las líneas de comando que representan funciones repetibles, esto define el comportamiento de las líneas de comando dentro de los segundos paréntesis de la función, estos pueden ser tomas de mediciones que se repiten cada cierto tiempo o líneas condicionales que se encuentren bajo el prefijo “IF”, los cuales cada vez que ocurra una condición escrita repetirá dicho comando, también dentro de esta línea pueden encontrarse frases que deban repetirse de manera periódica, al final de esta línea de comando siempre se colocara el comando “ *delay( );”* el cual corresponde al tiempo que se va a demorar el hardware en ejecutar las funciones dentro del LOOP, es debido a esto que es posible tener más de un comando “*void loop( ) { }* “ dentro de un código de programación si se requiere que elementos ejecuten tareas a diferentes tiempos.

Finalmente se presentan las opciones que posee el programa de Arduino IDE para la implementación de diversos elementos, a modo de graficar el uso de librerías o comandos pre armados para el control de módulos los cuales se suman a la plataforma de Arduino.

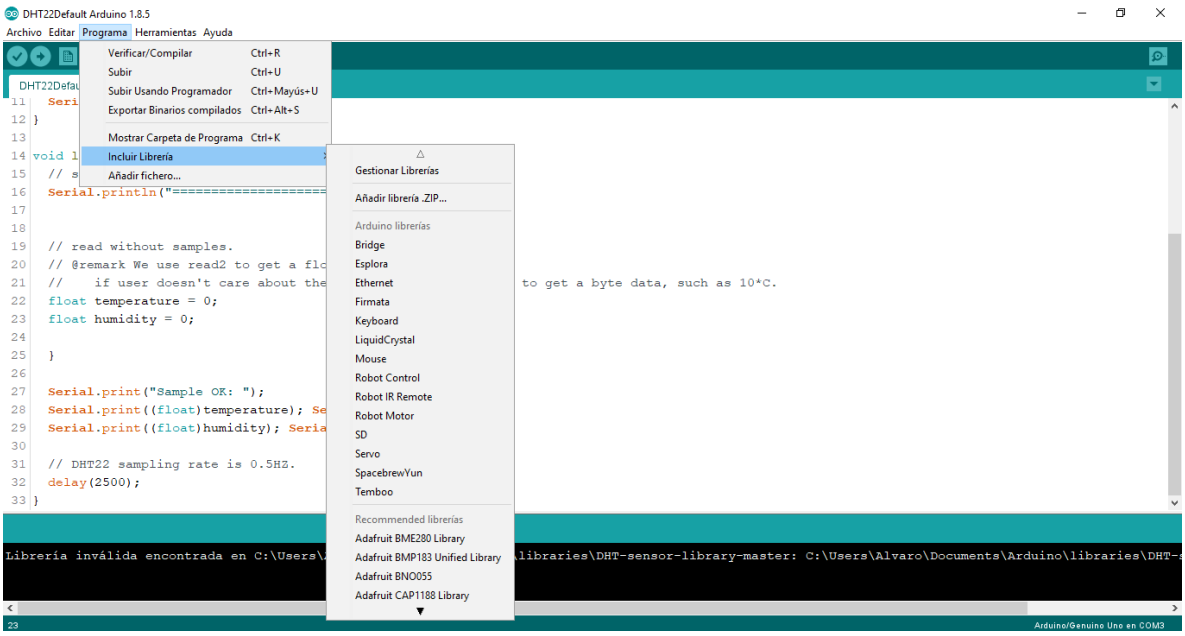


Figura Anexo2.2: Imagen de incorporación de librerías

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la Figura Anexo 2.2 del presente anexo, el método de incorporación resulta un método sencillo e intuitivo, como resulta gran parte de la elaboración de códigos de la plataforma Arduino.

Mediante esto se concluye el presente Anexo.

9.3 Anexos 3

El presente anexo consiste en mostrar los gráficos obtenidos con las mediciones minuto a minuto de temperatura obtenidos mediante la plataforma de Hardware y Software de Arduino. De esta manera graficar lo previamente mencionado sobre las mediciones minuto a minuto tanto de sensor interior como de sensor exterior.

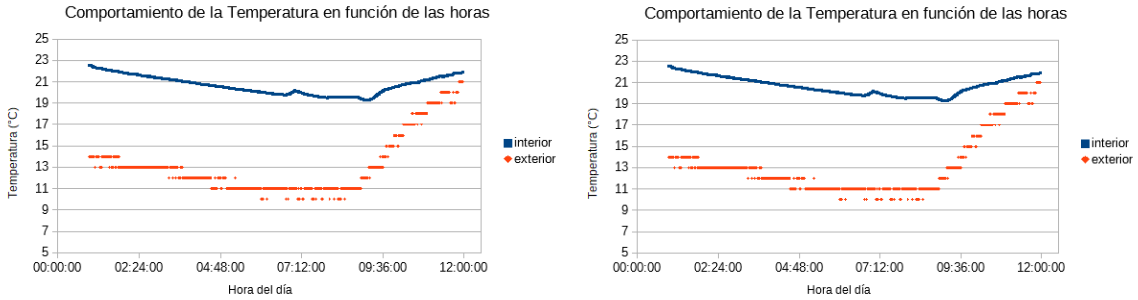


Grafico Anexo 3.1: Mediciones temperatura interior exterior Arduino día 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

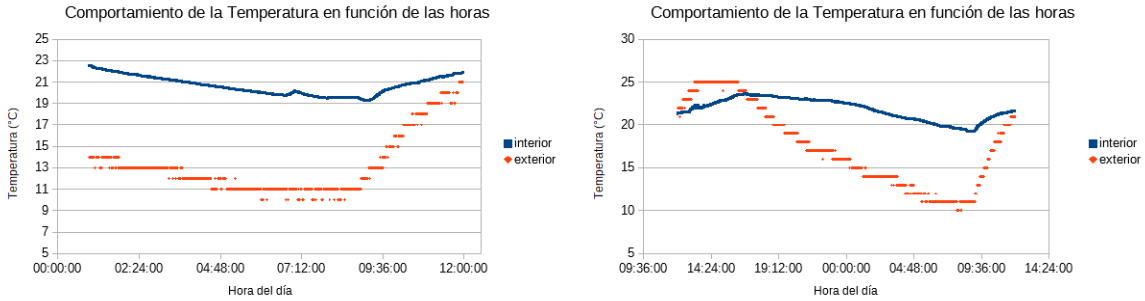


Grafico Anexo 3.2: Mediciones temperatura interior exterior Arduino día 3 y 4

Fuente: Elaboración propia

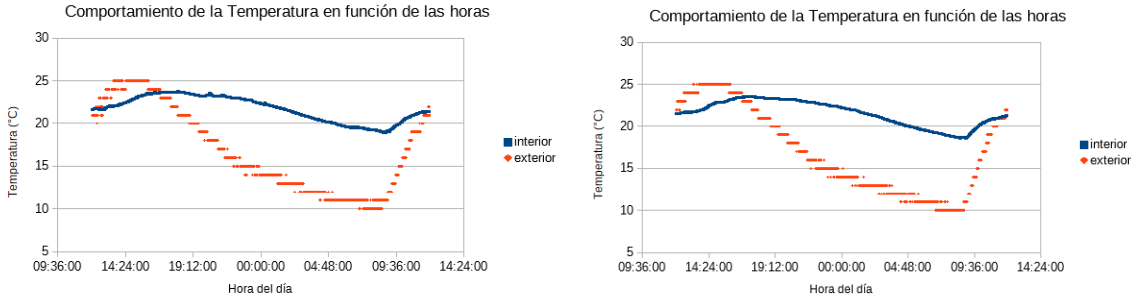


Grafico Anexo 3.3: Mediciones temperatura interior exterior Arduino día 5 y 6

Fuente: Elaboración propia

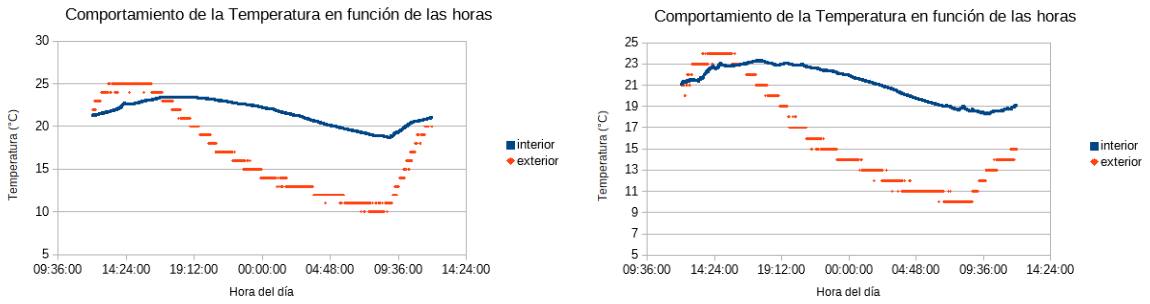


Grafico Anexo 3.4: Mediciones temperatura interior exterior Arduino día 7 y 8

Fuente: Elaboración propia

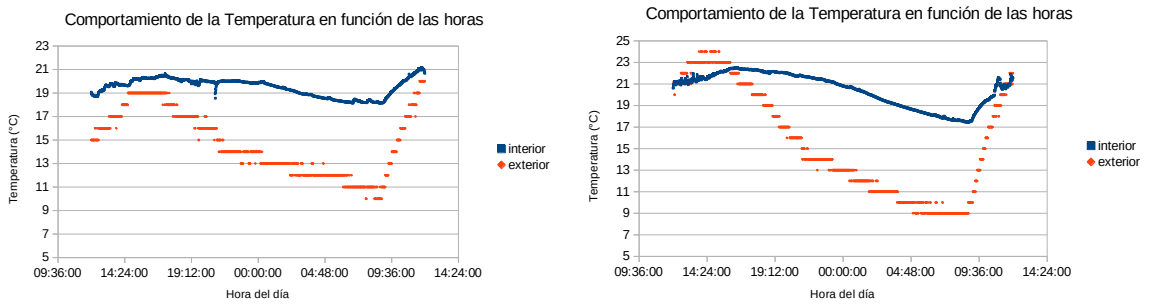


Grafico Anexo 3.5: Mediciones temperatura interior exterior Arduino día 9 y 10

Fuente: Elaboración propia

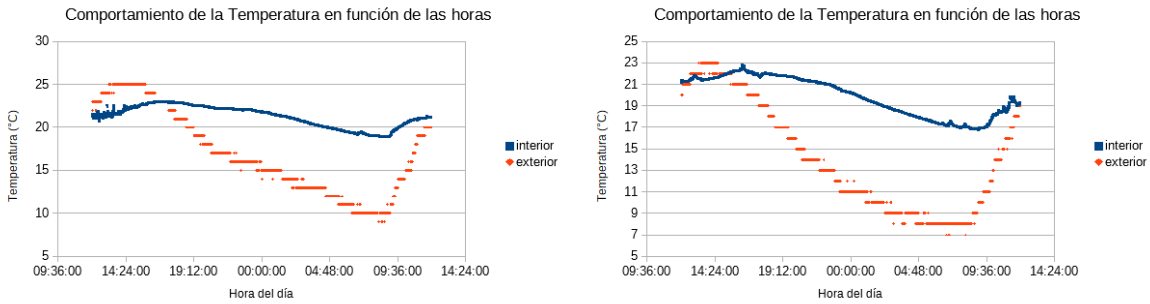


Grafico Anexo 3.6: Mediciones temperatura interior exterior Arduino día 11 y 12

Fuente: Elaboración propia

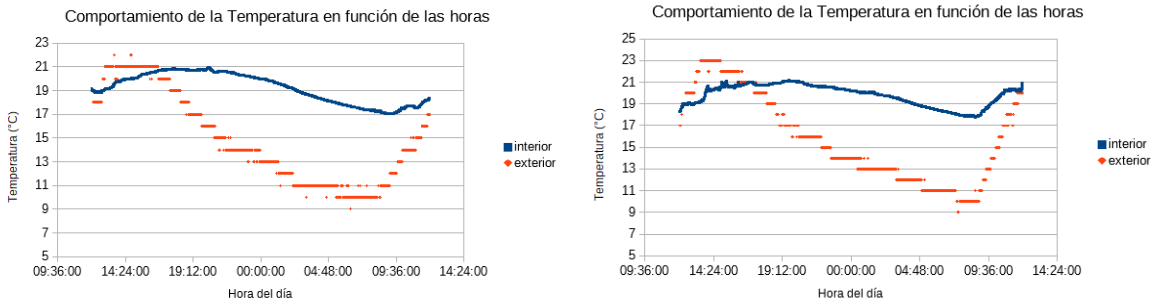


Grafico Anexo 3.7: Mediciones temperatura interior exterior Arduino día 13 y 14

Fuente: Elaboración propia

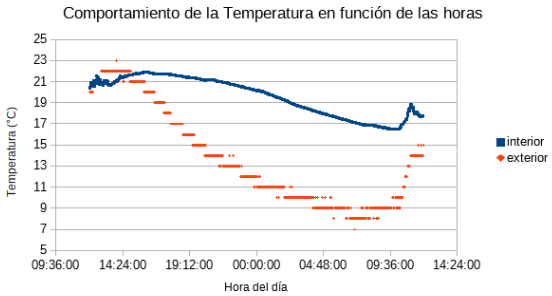


Grafico Anexo 3.8: Mediciones temperatura interior exterior Arduino día 15

Fuente: Elaboración propia

Mostrados los datos obtenidos con Sensores conectados a plataforma Arduino, resulta evidente que el sensor exterior recibe los datos de manera diferente a los obtenidos con el sensor interior e inclusive a como los recibe el sistema HOBO ONSET, a continuación, se procede a señalar un día aleatorio de medición con sistema HOBO ONSET para graficar la diferencia de curvas.

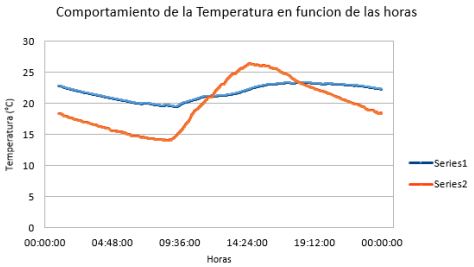


Grafico Anexo 3.9: Mediciones temperatura interior exterior HOBO ONSET0 día aleatorio

Fuente: Elaboración propia

El presente Anexo muestra el total de resultados de temperatura de interior y exterior obtenidos mediante el software de Arduino, identificando de esta manera lo señalado en el capítulo de la presente investigación “implementación y resultados”, donde se señala que los datos obtenidos mediante el sensor exterior, obtiene los números como Enteros, mientras que el sensor interior recibe los datos como números decimal, sin embargo como se muestra en Anexo 2 ambas funciones de sensores Fueron Programadas mediante el comando “*FLOAT*” , lo que indica que la obtención de datos de ambos sensores debió ser a través de números con decimales, recogiendo de manera más exacta la fluctuación de temperatura.

Por otro lado, al final de este anexo se muestra una medición de temperatura interior y exterior aleatoria obtenida con los sistemas patentados HOBO ONSET, en la cual se puede ver claramente que los sensores patentados obtuvieron tanto en su sensor interior como en su sensor exterior, los datos de manera decimal, con esto se muestra de manera más clara y extensa los resultados de los capítulos anteriores de la presente investigación.

De esta manera se da Termino al presente ANEXO