



**UNIVERSIDAD DON BOSCO
VICERRECTORÍA DE ESTUDIOS DE POSTGRADOS**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN
DISEÑO DE UN MONITOR DE PARAMETROS AMBIENTALES PARA
UNIDADES DE CUIDADOS INTENSIVOS NEONATALES (UCIN)**

**PARA OPTAR AL GRADO DE
MAESTRO EN MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA**

**ASESOR:
MSC. ING. MANUEL NAPOLEÓN CARDONA GUTIERREZ**

**PRESENTADO POR:
LEOPOLDO HERNÁNDEZ GUEVARA**

Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, Centroamérica

Agosto 2016

Agradecimientos

Es necesario reconocer y agradecer a todas las personas que han contribuido para la elaboración del presente proyecto. En primer lugar, dar gracias a Dios, que nos proporcionó la salud y los medios necesarios para llevar a cabo esta empresa. En segundo lugar a mi querida familia, que con mucha paciencia vieron surgir esta obra día a día. A la Universidad Don Bosco, por haber promovido e incentivado el estudio de esta maestría; y por último, a mis compañeros de la escuela de Ing. Biomédica, que siempre me apoyaron para alcanzar esta meta, sepan que a cada uno de ustedes les aprecio mucho y les estoy eternamente agradecido.

Índice

Resumeni

Abstract ii

Abreviaturas y acrónimos iii

Capítulo 1. Antecedentes 1

1.1. Contexto de desarrollo..... 1

1.1.1. Neonatos prematuros y de alto riesgo..... 2

1.1.2. La UCIN como el servicio oportuno para el neonato de alto riesgo 2

1.1.3. Definición de la UCIN..... 3

1.1.4. Funciones de la UCIN 3

1.1.5. Antecedentes de la UCIN..... 4

1.1.6. Características de diseño de una UCIN..... 5

1.1.7. Climatización de la UCIN 6

1.1.8. Influencia de los parámetros ambientales en el recién nacido prematuro 6

1.1.9. Normativas y estándares internacionales relacionados con los parámetros ambientales de la UCIN 7

1.2. Planteamiento del problema 9

1.3. Objetivos..... 9

1.3.1. General 9

1.3.2. Específicos 10

1.4. Justificación..... 10

1.5. Limitaciones..... 10

Capítulo 2. Marco Teórico 11

2.1. Instrumentación para la medición de parámetros ambientales 11

2.1.1. Sensores de Temperatura 11

2.1.2. Sensores de Humedad..... 12

2.1.3. Sensores de Iluminación Ambiental 13

2.1.4. Sensores de Ruido Ambiental (Sonido) 14

2.1.5. Acondicionamiento de las señales de los sensores 15

2.1.6. Los sistemas o circuitos embebidos..... 15

2.1.7. La tarjeta Arduino..... 16

2.2. Medidores de parámetros ambientales en el mercado 17

2.2.1. Medidores ambientales marca EXTECH modelo EN300 17

2.2.2. Medidores ambientales marca TESTO	18
2.2.3. Medidores ambientales marca HT Instruments.....	18
2.2.4. Medidores ambientales marca OMEGA.....	19
2.2.5. Medidores ambientales marca HIBOK.....	19
2.2.6. Comparación de prestaciones y precios de los diferentes medidores multiparámetros	20
2.3. Alternativas para la medición y monitorización de parámetros ambientales en la UCIN.....	20
Capítulo 3. Marco metodológico	21
3.1. Aspectos de diseño del módulo de medición de parámetros ambientales para una UCIN	21
3.1.1. Diseño electrónico mediante el sistema embebido Arduino	21
3.1.2. La placa Arduino Uno.....	21
3.1.3. El sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 para Arduino	21
3.1.4. El sensor lumínico KY-018.....	22
3.1.5. El sensor de sonido KY-038.....	22
3.1.6. Indicadores de rebase de límites de parámetros ambientales mediante LED's	23
3.1.7. Construcción física del módulo de parámetros ambientales.....	23
3.1.8. Código en Arduino para el funcionamiento del módulo.....	23
3.2. Aspectos de diseño de la interfaz gráfica (HMI) para la lectura de datos de parámetros ambientales del módulo de medición de parámetros ambientales para una UCIN	24
3.2.1. Los programas informáticos disponibles para presentación de datos electrónicos	24
3.2.2. El Programa LabVIEW	24
Capítulo 4. Diseño final y análisis de resultados.....	25
4.1. Descripción del diseño final implementado	25
4.1.1. Diseño físico (Hardware).....	25
4.1.2. Diseño de los códigos y programas (Software).....	26
4.1.2.1. Diseño del código para Arduino del módulo	26
4.1.2.2. Diseño de la interfaz HMI para el módulo.....	31
4.2. Análisis funcional.....	35
4.3. Análisis de costos.....	36
4.4. Calibración y validación de los datos.....	36
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.....	38
Bibliografía y referencias.....	40

Resumen

La atención a los recién nacidos es una prioridad para los sistemas de salud a nivel mundial, en El Salvador nacen aproximadamente 350 bebés al día, lo que vuelve aún más crítico contar con los recursos clínicos necesarios para dar una atención de calidad y minimizar los riesgos asociados al nacimiento. De hecho, El Salvador cuenta con un sistema de salud muy eficiente que proporciona la atención debida a los neonatos, teniendo un índice de mortalidad al nacer de solo un 7%. La mortalidad en los recién nacidos es causada principalmente por la prematuridad, que es la condición de nacer antes del tiempo establecido por la naturaleza. El período de gestación normal es de 40 semanas, siendo un bebé prematuro si nace antes de 37 semanas. Además, puede padecer enfermedades congénitas o problemas en el momento del parto.

La Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales es el área especializada del hospital donde se da la atención médica experta a los bebés prematuros o con alto riesgo de morir. Como todo ambiente hospitalario, debe estar adecuadamente diseñada, equipada y atendida por personal médico calificado. Además, su ambiente debe ser el óptimo para evitar saturar los frágiles sentidos del neonato en riesgo. El presente trabajo consiste en proporcionar una solución tecnológica que sirva de apoyo en el logro de un ambiente de alta calidad para el recién nacido, alertando al personal de la UCIN cuando se tenga un desborde de los límites permitidos por las normativas internacionales durante la medición en tiempo real de los parámetros ambientales básicos: Temperatura, Humedad Relativa, Intensidad Luminosa e Intensidad Sonora. Esta solución tecnológica ha implicado el diseño y construcción de un módulo de monitorización de parámetros ambientales, que mide en tiempo los parámetros ambientales antes mencionados. El módulo posee alarmas visuales que están calibradas para activarse al sobrepasar los rangos recomendados por estándares y normativas internacionales, las cuales han sido utilizadas en vista que en El Salvador no se poseen normas para este particular. El modulo ha sido construido con el sistema embebido Arduino, y los respectivos sensores que funcionan con esta placa, los indicadores de alarma son luminosos para no contaminar el ambiente con ruido. El sistema está alimentado con una fuente externa de 9VDC y posee una interfaz gráfica construida en el software para ingeniería LabVIEW, además del propio monitor de datos seriales incluido con el código para Arduino.

Abstract

Care for newborns is a priority for health systems worldwide, in El Salvador are born about 350 babies a day, which becomes even more critical to have clinical resources needed to provide quality care and minimize risks associated with birth. In fact, El Salvador has a very efficient health system that gives due attention to infants having a birth mortality rate of only 7%. Mortality in newborns is mainly caused by prematurity, which is the condition of being born before the time set by nature. The normal gestation period is 40 weeks, with a premature baby if born before 37 weeks. In addition, the babies may have congenital diseases or problems during childbirth.

The Neonatal Intensive Care Unit is the specialized area of the hospital where expert medical care to premature babies or at high risk of dying is given. Like any hospital environment must be properly designed, equipped and staffed by qualified medical personnel. In addition, the environment should be optimal to avoid saturating the fragile senses of the newborn at risk. This work is to provide a technological solution that will support the achievement of a high quality environment for the newborn, alerting staff of the NICU when an overflow of the limits permitted by international standards during the measurement is taken into Real-time basic environmental parameters: temperature, relative humidity, luminous intensity and Loudness. This technological solution has involved the design and construction of a module monitoring environmental parameters, measuring the aforementioned environmental parameters. The module has visual alarms that are calibrated to activate when exceeding the recommended international standards and regulations, which have been used in view that in El Salvador are no rules for this particular own ranks. The module is built with Arduino embedded system and the respective sensors that work with this board, the alarm indicators are bright to not pollute the environment with noise. The system is powered by an external source 9VDC and has a built in software engineering LabVIEW graphical interface, in addition to self-monitor serial data included with the code for Arduino.

Abreviaturas y acrónimos

AAP	American Academy of Pediatrics (Academia Americana de Pediatría)
ADC	Analog to Digital Converter (Convertidor Analógico a Digital)
FPGA	Field Programmable Gate Array (Arreglo de Compuertas de Campo Programable)
IDE	Integrated Development Environment (Ambiente de Desarrollo Integrado)
ISSS	Instituto Salvadoreño del Seguro Social
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
LED	Light Emissor Diode (Diodo Emisor de Luz)
LDR	Light Dependant Resistor (Resistencia Dependiente de la Luz)
MAC	Macintosh Computer (Computadora Macintosh)
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
NICU	Neonatal Intensive Care Unit (Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales)
NIST	National Institute of Standards and Technology (Instituto Nacional de Normas y Tecnología)
NTC	Negative Temperature Coefficient (Coeficiente de Temperatura Negativo)
OMS	Organización Mundial de la Salud
PC	Personal Computer (Computadora Personal)
PTC	Positive Temperature Coefficient (Coeficiente de Temperatura Positivo)
UCIN	Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund (Fondo de Emergencia Internacional de las Naciones Unidas para la Infancia)
USB	Universal Serial Bus (Bus Serie Universal)

Capítulo 1 Antecedentes

En este capítulo se describen el contexto y los factores relacionados que sustentan las causas principales que nos conducen a enmarcar la necesidad de la existencia de la solución tecnológica diseñada; además se exponen los antecedentes históricos relacionados con el desarrollo del ambiente clínico-hospitalario donde se lleva a cabo el diseño.

Asimismo se plantean la formulación del problema, los objetivos de la aplicación, sus alcances y limitaciones.

Asimismo se presentan también las normativas relacionadas con el desarrollo del presente diseño y cuya aplicación justifica la elaboración del presente trabajo de aplicación.

1.1 Contexto de desarrollo

De acuerdo a los datos estadísticos más actualizados de El Salvador registrados por la UNICEF¹, en nuestro país nacen 128,000 personas anualmente, esto significa que aproximadamente 350 nuevos salvadoreños se incorporan a nuestra población diariamente. El informe también refleja que del total de estos nacimientos, 84% son atendidos en instituciones de salud pública o privada, demandando una cantidad de recursos clínicos considerables, tales como instalaciones adecuadas para la atención de partos, equipos e insumos médicos, personal de salud especializado, entre otros. Para un país en desarrollo como El Salvador, es significativamente positivo que la tasa de mortalidad al nacer sea solo del 7%, logrado en parte por los avances e inversión en salud para la atención de los recién nacidos que se ha concretizado en los últimos cincuenta años.

Tabla 1. Indicadores Básicos de El Salvador, según la UNICEF

TABLE 1. BASIC INDICATORS															
Countries and areas	Under-5 mortality rank	Under-5 mortality rate (U5MR)		U5MR by sex 2013		Infant mortality rate (under 1)		Neonatal mortality rate	Total population (thousands)	Annual no. of births (thousands)	Annual no. of under-5 deaths (thousands)	GNI per capita (US\$)	Life expectancy at birth (years)	Total adult literacy rate (%)	Primary school net enrolment ratio (%)
		1990	2013	male	female	1990	2013								
Denmark	167	9	4	4	3	7	3	2	5,619	64	0	61,110	79	-	98
Djibouti	36	119	70	76	63	92	57	31	873	24	2	b	62	-	58
Dominica	131	17	11	12	10	14	10	8	72	-	0	6,760	-	-	96
Dominican Republic	78	60	28	31	25	46	24	16	10,404	217	6	5,620	73	90	89
Ecuador	87	57	23	25	20	44	19	11	15,738	328	7	5,510	76	93	97
Egypt	89	85	22	23	21	63	19	12	82,056	1,901	42	3,160	71	74	97
El Salvador	106	60	16	17	14	46	14	7	6,340	128	2	3,720	73	85	95
Equatorial Guinea	17	184	96	101	90	124	69	33	757	27	2	14,320	53	95	62
Eritrea	53	151	90	95	45	93	36	18	6,333	233	11	490	63	70	34
Estonia	185	20	3	4	3	17	3	2	1,287	14	0	17,370	74	100	97
Ethiopia	39	205	64	70	58	122	44	28	94,101	3,113	196	470	64	39	x
Fiji	83	30	24	26	21	25	20	10	881	18	0	4,430	70	-	99
Finland	185	7	3	3	2	6	2	1	5,426	61	0	47,110	81	-	99

1 Tablas Estadísticas del Estado Mundial de la Infancia 2013, UNICEF

1.1.1 Neonatos prematuros y de alto riesgo

La ciencia médica nos indica que los recién nacidos están expuestos a múltiples factores que pueden comprometer su estado de salud al momento del parto, tales como falta de atención especializada, enfermedades congénitas, desnutrición, entre otras. Una de las situaciones que comprometen en gran medida la salud de los bebés es nacer antes del tiempo de gestación natural del ser humano que está entre las 37 y las 40 semanas. Según la OMS² se dice que un niño es prematuro cuando nace antes de haberse completado 37 semanas de gestación, normalmente el embarazo dura unas 40 semanas. Debido a que el neonato aún no ha desarrollado todos los sistemas anatómicos y fisiológicos necesarios para que el cuerpo humano sobreviva en el medio, a este fenómeno se le denomina como “prematurez” es decir, no se ha alcanzado una maduración completa en el cuerpo del neonato.

Las opiniones de los especialistas varían respecto a las condiciones que sitúan al bebe en un cuadro de prematurez, sin embargo para el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de El Salvador, se considera bebé prematuro a todo aquel que pesa 2,000 gramos o menos al momento de su nacimiento.³ Según esta entidad pública, el diagnóstico de “prematurez” se ha mantenido como la primera causa de mortalidad en los recién nacidos. Los datos del Sistema Informático Perinatal, revelan para el año 2011 un porcentaje de prematurez a nivel nacional del 10.7%, lo que convierte a este grupo de edad en una prioridad para las intervenciones de reducción de la mortalidad neonatal

Además de la condición de “prematurez” el recién nacido puede adolecer de otros padecimientos que lo sitúen en un cuadro de paciente de alto riesgo, como lo pueden ser las malformaciones congénitas (tales como insuficiencias cardíacas, problemas en el sistema respiratorio), percances ocurridos durante el parto (síndrome de aspiración de meconio, lesión de plexo braquial, fracturas); situaciones que lo vuelven sumamente vulnerable y candidato a procedimientos médicos más especializados.

1.1.2 La UCIN como el servicio oportuno para el neonato de alto riesgo

UCIN es un acrónimo para “Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales”. Su mismo nombre nos indica que es un lugar donde se brinda a los bebes enfermos, prematuros o con ambas condiciones, un cuidado especial y más intenso que a un bebé nacido sin mayores complicaciones de salud. La UCIN es un área especial dentro del Hospital donde se brinda atención médica más especializada, para mantener y potenciar la vida de los bebés de alto riesgo.

Para lograr brindar al neonato los tratamientos pertinentes a su estado delicado, la UCIN debe contar con equipos biomédicos de alta tecnología, tales como incubadoras neonatales y cunas térmicas, a su vez, con profesionales de la medicina especializados en diferentes áreas tales como neonatologos, pediatras, cardiólogos, nutricionistas, dermatólogos, entre otros. Además, se debe procurar la infraestructura y el mobiliario adecuado para lograr llevar a cabo todos los diagnósticos y tratamientos con éxito.

² Definición de bebé prematuro de la OMS disponible en http://www.who.int/features/qa/preterm_babies/es/

³ Documento: “Lineamientos técnicos para la atención integral en salud del prematuro con peso menor de dos mil gramos al nacer”. MSPAS 2013.



Figura 1. Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales⁴ (UCIN) Típica

Es de vital importancia además que esta área cumpla ciertas condiciones ambientales óptimas, como la temperatura, la humedad relativa, la iluminación y los niveles de ruido ambiental adecuados. La temperatura y la humedad influyen grandemente en el buen funcionamiento de las incubadoras neonatales y cunas térmicas, ya que controlan el ambiente aislado del bebé con más eficacia, ayudando a mantener la temperatura del bebé en la zona neutral de temperatura⁵. La iluminación es importante ya que los ojos del neonato no están adecuadamente formados, y una intensidad lumínica excesiva puede provocar secuelas graves de por vida como amaurosis⁶; de manera similar un nivel de presión sonora excesiva puede dañar sus débiles tímpanos aun en formación y provocar una hipoacusia o una cofosis⁷ permanente.

A continuación se describirá de manera más detallada en que consiste esta importante unidad del hospital, y la manera en que asiste a los recién nacidos en alto riesgo.

1.1.3 Definición de la UCIN

La Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales se define como el área clínica donde se lleva a cabo el cuidado de los recién nacidos médicamente inestables o críticamente enfermos, que requieren de atención de enfermería constante, complicados procedimientos quirúrgicos, asistencia respiratoria continua, u otras intervenciones intensivas.⁸

1.1.4 Funciones de la UCIN

La Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales trata de cumplir con tres aspectos básicos: a) un espacio destinado a reunir pacientes recién nacidos muy graves con peligro de morir, b) tener personal entrenado en el manejo de estos pacientes, y c) contar con equipo especialmente construido para el tratamiento y vigilancia de este tipo de pacientes⁹

⁴ Nueva Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales del Hospital Nacional de la Mujer, El Salvador

⁵ Rango de temperatura en la cual el bebé se encuentra en el balance térmico idóneo para su salud.

⁶ Término Médico para la ceguera

⁷ Término Médico para la sordera.

⁸ Definición de UCIN tomada del documento: “Recommended Standards For Newborn ICU Design” Florida, 2012

⁹ Funciones de la UCIN tomadas de las Normas de Diseño de Arquitectura del IMSS, pag.466, Tomo II, 1993

1.1.5 Antecedentes de la UCIN

Ya desde tiempos antiguos, los pueblos estaban conscientes de la fragilidad de los neonatos prematuros, principalmente la dificultad que tienen para conservar el calor corporal. Es por esto que siempre se han considerado popularmente diversas formas para ayudarles a calentarse, tales como envolverles en paños gruesos en ambientes fríos y acercarlos a fuentes de calor como chimeneas, entre otros.

Sin embargo, antes del siglo XIX no se contaba con estudios científicos acerca de los cuidados necesarios para los bebés prematuros que presentaban problemas al nacer, por lo que se confiaba en la evolución espontánea de los mismos, lo que significaba un número elevado de muertes por prematuridad.

No fue hasta que el obstetra francés Etienne Stéphane Tarnier (1828-1897), junto con su interno Alfred Auvard (1855-1941) preconizó el uso de una especie de incubadora que mantenía una temperatura constante para los recién nacidos de menos de dos kilos de peso a la vez que practicaba una serie de medidas higiénicas para mantener al niño en las condiciones adecuadas. Instaló este aparato en la Maternidad de París en 1880. Se componía de una caja ancha de madera de paredes de 10 centímetros de espesor, dividida en dos compartimentos, uno inferior, en el que se hallaba un recipiente de agua caliente, y otro superior donde descansaba el niño. Había nacido la primera unidad de cuidados especiales para los neonatos prematuros.

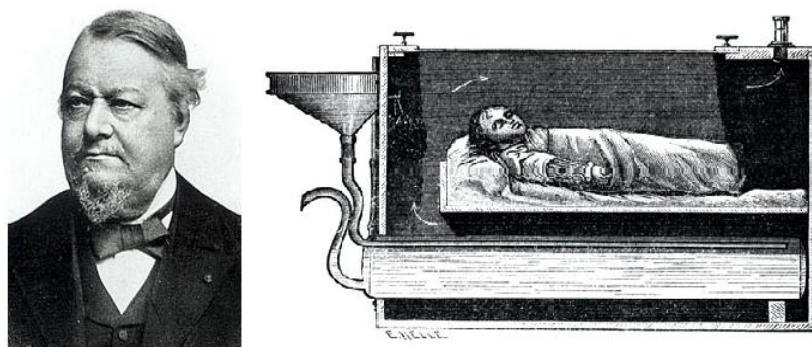


Figura 2. Retrato del Dr. Tarnier, y su prototipo de Incubadora neonatal

En 1907, otro connotado médico francés, Pierre-Constant Budin (1846-1907), considerado como el padre de la Neonatología, en su libro: *“Le nourrisson: alimentation et hygiène - enfants débiles, enfants nés à terme (1900)”*¹⁰ expuso la necesidad y la importancia de controlar la temperatura ambiental de los bebés nacidos antes de término, para lograr su supervivencia, estimulando así el desarrollo de las incubadoras neonatales.

Tomando como ejemplo el desarrollo de la atención a los recién nacidos alcanzado en Europa, en 1914 el neonatólogo estadounidense Julius Hess (1876-1955) considerado el padre de la neonatología americana, abrió la primera unidad de prematuros en el Hospital de Niños Sarah

¹⁰ Traducción al español del título del libro: El lactante: la alimentación y la higiene - los niños deficientes, recién nacidos a término, año 1900

Morris, adscrito al Hospital Michael Reese de Chicago, Illinois. A partir de esta fecha, e impulsada por el desarrollo tecnológico e investigativo de los Estados Unidos de América, esta importante área hospitalaria se desarrolló grandemente a lo largo del siglo XX, permeando este trascendental logro hasta nuestros sistemas de salud latinoamericanos. En El Salvador, los principales sistemas de salud tales como el MSPAS, el ISSS y los hospitales privados, cuentan con este importante servicio clínico.

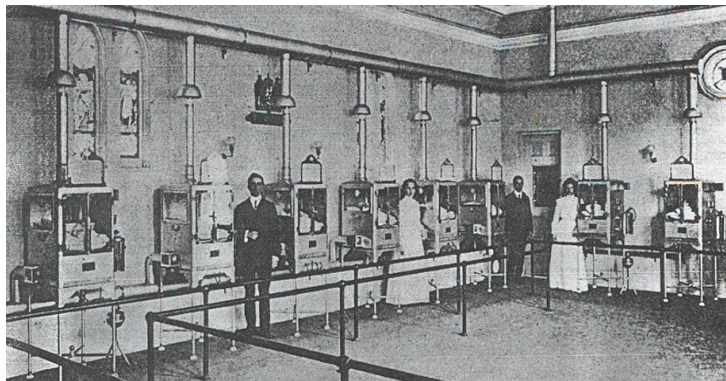


Figura 3. Sala de Incubadoras, Buffalo, Nueva York, 1901 (cortesía www.neonatology.org)

1.1.6 Características de diseño de una UCIN

Las unidades de cuidados neonatales pueden ser clasificadas dependiendo de su nivel de atención: Las de nivel uno solamente brindan atención básica (guardería de cuidados normales), en el nivel dos o cuidados intermedios se cuidan neonatos que padecen situaciones de bajo riesgo o patologías menores, y en el nivel tres o sobre-especializados, se atienden pacientes críticos que probablemente necesitan cirugías complejas o necesitan cuidados que involucran varias especialidades médicas. Los hospitales o clínicas de atención de partos de nivel uno y dos deben poseer los medios para estabilizar y trasladar un paciente que amerite atención de nivel tres.

Una UCIN debe poseer al menos las siguientes áreas: El área de cuidados, que es donde se encuentran las incubadoras neonatales y los equipos especializados que brindan soporte de vida al prematuro y donde los médicos realizan sus procedimientos. El área de Estación de Enfermería, que es donde las enfermeras de la UCIN preparan a los pacientes y están vigilantes de la condición de cada paciente. El área Familiar, que es el espacio reservado a las familias de los pacientes, pues el contacto del neonato con sus padres, especialmente la madre, es imprescindible para su desarrollo. Por último se tienen áreas auxiliares como las administrativas, guarda de equipos, docencia e investigación.

El equipo de profesionales en medicina de la UCIN está liderado generalmente por un médico neonatólogo, con experiencia en bebés prematuros, apoyado por un equipo de enfermería bien capacitado y médicos especialistas tales como cirujanos, cardiólogos, dermatólogos, neumólogos, entre otros. El equipamiento biomédico instalado en la UCIN es variado y está centrado en proporcionar las condiciones y la vigilancia necesaria al paciente; entre varios podemos mencionar: las incubadoras neonatales, las cuales brindan un ambiente térmico neutral al paciente, así como niveles adecuados de oxígeno y humedad relativa, de manera aislada; las

cunas térmicas, las cuales proporcionan calor pero no son cerradas, los monitores de signos vitales, los ventiladores mecánicos, los oxímetros de pulso, las bombas de perfusión para el suministro de medicamentos y alimentos, entre otros.

1.1.7 Climatización de la UCIN

El recién nacido de alto riesgo que permanece en la UCIN es un ser humano sumamente frágil: su grado de inmadurez corporal le vuelve sumamente vulnerable y susceptible ante los estímulos externos. Su adaptación a la vida, al medio ambiente, es mucho más difícil y lenta que para un bebé nacido a término o que no padece patologías al nacer. Es por ello que el diseño de la UCIN debe ser holístico: integrado en todos sus aspectos para ser lo menos agresivo con el neonato prematuro, con un diseño adecuado para cumplir todas sus funciones, un medio ambiente físico conveniente para las condiciones de los pacientes y el personal, y además una organización administrativa eficiente. Muchos países desarrollados poseen numerosos estudios e investigaciones orientados a mejorar cada vez más estos aspectos de la UCIN, lo que ha llevado a establecer estándares y normativas de calidad que deben ser cumplidos en las unidades de cuidados intensivos neonatales. En El Salvador no se cuenta con normativas específicas para los aspectos arquitectónicos y de diseño para este particular, aunque sí se cuenta con una guía emitida por el Ministerio de Salud y Asistencia Social para la atención médica del recién nacido prematuro.¹¹

Esto nos deja en una posición un tanto desventajosa, en el sentido que no hay una regla clara en cuanto a la ambientación y climatización de esta importante área del hospital, sin embargo un aporte importante mientras se establecen normas propias, es la indagación en normas internacionales para conocer cuáles son los criterios aceptados de calidad climática, entre otros muchos aspectos, para el buen funcionamiento de esta área clínica de tanta relevancia. Se centra la atención específicamente en la parte de climatización por ser el objeto del diseño propuesto en este trabajo.

1.1.8 Influencia de los parámetros ambientales en el recién nacido prematuro

La población de recién nacidos prematuros y/o enfermos tiene hoy en día la ventaja de contar con procedimientos médicos muy eficientes y tecnología biomédica muy avanzada, lo que le da una mayor expectativa de sobrevivir. Sin embargo, el hecho de que los órganos del prematuro están inmaduros, especialmente el sistema nervioso, hace que no sea capaz de manejar el estrés sensorial que a menudo infringen ciertas condiciones físicas de su entorno. El medio ambiente físico y psicológico de la UCIN puede ser un factor decisivo en el desarrollo neonatal. Los procedimientos frecuentes, la manipulación y la exposición a la luz y el ruido pueden causar estrés fisiológico en los bebés, lo que aumenta su tiempo de estancia en la unidad y, en última instancia, disminuir su desarrollo cognitivo. No sólo este entorno afecta al bebé prematuro, también estos niños se ven afectados indirectamente por el estrés del cuidador y la capacidad de proporcionar una atención adecuada.

La calidad de los parámetros físicos ambientales que afectan directamente el sistema nervioso del bebé depende en gran manera del diseño de las instalaciones de la UCIN, especialmente en

¹¹ Documento del MSPAS: “Lineamientos técnicos para la atención integral en salud del prematuro con peso menor de dos mil gramos al nacer”, año 2013.

lo referente a climatización (temperatura y humedad relativa), recambios de aire, ruido e iluminación ambiental. Para lograr los valores ideales de estos parámetros, deben considerarse muchas características de diseño tales como colocación de luminarias, aire acondicionado, disposición y colocación de equipamiento, entre otras provisiones. Debido a esto, surge la necesidad de constatar que los valores de los parámetros ambientales mencionados estén dentro de los rangos permitidos y que asegure que no se afectarán los frágiles sentidos y sistema nerviosos del paciente, pudiéndose implementar un sistema que mida en tiempo real cada parámetro, e indique si está sobrepasando los límites permitidos, establecidos en los estándares y normativas internacionales.

1.1.9 Normativas y estándares internacionales relacionados con los parámetros ambientales de la UCIN

A continuación se muestra una tabla donde se puede apreciar la normativa o estándar, y cuál es su enunciado respecto a los parámetros ambientales de la UCIN.

Tabla 2. Resumen de principales estándares para el diseño de una UCIN

Normativa o Estándar	Parámetro Ambiental	Enunciado (Textual)
Standard 10: Ambient Temperature and Ventilation. Recommended Standards for Newborn ICU Design (Consensus Conference on newborn ICU Design, January 26, 2012 Clearwater Beach, Florida, US	Temperatura y Humedad Relativa	“The NICU shall be designed to provide an air temperature of 72°F to 78°F (22-26° C) and a relative humidity of 30-60%, while avoiding condensation on wall and window surfaces”
Standard 22: Ambient Lighting in Infant Care Areas. Recommended Standards for Newborn ICU Design (Consensus Conference on newborn ICU Design, January 26, 2012 Clearwater Beach, Florida, US	Iluminación Ambiental	“Ambient lighting levels in infant spaces shall be adjustable through a range of at least 10 to no more than 600 lux (approximately 1 to 60 foot candles), as measured on a horizontal plane at each bedside”
Standard 27: Acoustic Environment. Recommended Standards for Newborn ICU Design (Consensus Conference on newborn ICU Design, January 26, 2012 Clearwater Beach, Florida, US	Ruido Ambiental (Sonido)	“In infant rooms and adult sleep areas, the combination of continuous background sound and operational sound shall not exceed an hourly Leq of 45 dB and an hourly L10 of 50 dB, both A-weighted slow response. Transient sounds or Lmax shall not exceed 65 dB, A-weighted, slow response in these rooms/areas”
1. Acústica 13.5. Anexo 5: Consideraciones sobre las condiciones ambientales, instalaciones y elementos constructivos. Estándares y recomendaciones de calidad para Unidades de Neonatología, editado por el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, Gobierno de España	Ruido Ambiental (Sonido)	“El nivel de ruido en la unidad debe ser inferior a 45 dB (10-55 dB) y no debe superar un máximo de 65-70 dB de forma transitoria”

Normativa o Estándar	Parámetro Ambiental	Enunciado (Textual)
2. Iluminación 13.5. Anexo 5: Consideraciones sobre las condiciones ambientales, instalaciones y elementos constructivos. Estándares y recomendaciones de calidad para Unidades de Neonatología, editado por el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, Gobierno de España	Iluminación Ambiental	“Los niveles recomendados de iluminación en la Unidad de Cuidados Intensivos de Neonatología donde haya grandes prematuros, deberían oscilar entre <u>10 y 600 lux</u> (con capacidad de regulación), medidos en el plano horizontal de la cuna o incubadora (con menos de 30 semanas debe disponer de un nivel de iluminación inferior a los 20 lux).”
4. Climatización 13.5. Anexo 5: Consideraciones sobre las condiciones ambientales, instalaciones y elementos constructivos. Estándares y recomendaciones de calidad para Unidades de Neonatología, editado por el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, Gobierno de España	Temperatura y Humedad Relativa	“El sistema de climatización debe diseñarse y calcularse para disponer de una temperatura en la Unidad de <u>22° a 26 °C</u> , dentro de las salas de atención hasta 30°C con una humedad relativa entre el <u>30 y el 60%</u> . La zona de atención clínica al neonato debe disponer de presión positiva respecto a las zonas adyacentes de la Unidad.”
American Academy of Pediatrics (AAP)	Ruido Ambiental y Monitorización	“The American Academy of Pediatrics (AAP) recommends that sound levels be lower than <u>45 dBA</u> in the NICU, based on a report from the US Environmental Protection Agency (EPA). According to the AAP, exposure to noise above 45 dBA may result in cochlear damage or disrupt the normal growth and development of premature infants (American Academy of Pediatrics, 1997). The AAP suggested pediatricians <u>monitor sound in the NICU environments and within incubators</u> ”

Fuentes: Reporte de la conferencia del décimo octavo congreso sobre recién nacidos sobre el diseño de la UCIN, Clear Water, Florida, EEUU; Investigación: “Unidades de neonatología, estándares y recomendaciones de calidad”, realizada por el Ministerio de Sanidad de España; artículo “Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn”, del comité de salud ambiental de la Academia Americana de Pediatría.

De la tabla anterior se puede reconocer cuales son los niveles aceptados internacionalmente para los parámetros ambientales y de climatización que debe existir en una UCIN. Si adoptamos como permitidos los estándares recomendados para el diseño de la UCIN establecidos en Clearwater Beach, Florida, Estados Unidos en el año 2012, los valores ideales para este ambiente son los siguientes:

Tabla 3. Límites de los principales parámetros Ambientales en la UCIN, según estándares de EEUU y España

Parámetro	Rango de Valores
Temperatura	De 22° a 26°C
Humedad Relativa	De 30 a 60%
Iluminación	600 Lux (Máximo)
Ruido Ambiental	65 dB (Máximo)

Estos valores se consideran los idóneos para no someter a estrés innecesario a la frágil constitución de los bebés prematuros, impidiendo causar daños permanentes y perniciosos para el paciente.

1.2 Planteamiento del problema

Las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales en El Salvador, han alcanzado un aceptable grado de desarrollo en brindar buena calidad en la atención a los recién nacidos de alto riesgo, se posee la tecnología biomédica adecuada así como el personal médico indicado. Se conoce también que un ambiente inadecuado en el recinto es potencialmente dañino para el prematuro. Sin embargo, al carecer de normativas específicas que indiquen los estándares a cumplir en lo que respecta a parámetros ambientales, el personal no está familiarizado o desconoce cuáles son los límites en los que debe establecerse cada uno de ellos.

Esta deficiencia podría llevar a que se presenten situaciones que pongan en riesgo los frágiles sistemas de los bebés dentro del servicio. Por ejemplo, se sabe que los ruidos excesivos mayores de 65 dB pueden provocar problemas permanentes de hipoacusia por rotura de tímpano, o en el peor de los casos, cofoxis permanente. Estos ruidos pueden darse fácilmente en tonos de teléfono, alarmas de equipos médicos, tonos de voz muy altos, dejar caer objetos pesados, ruidos externos como maquinaria de construcción, entre otros. Igualmente la iluminación excesiva que rebasa los 600 lux, puede causar daños en la retina, provocando una posible ceguera, pudiéndose dar esta situación al no proteger los ojos de los neonatos ante fuentes de luz muy fuertes como lámparas de fototerapia, lámparas de examinación, luz solar a través de ventanas, entre otros. Además, aunque las consecuencias no lleguen niveles altos de gravedad, el ruido y luz excesivos pueden ser causantes de problemas futuros en el sistema nervioso del bebé. La temperatura y humedad excesivas o muy bajas, afectan el funcionamiento de las incubadoras neonatales y cunas térmicas, a su vez tiene mucha influencia en el personal de la unidad, lo que al final confluye en los procesos que se le realizan al paciente.

En consecuencia, en el presente trabajo se contribuye a que al interior de la UCIN se estén verificando continuamente los parámetros ambientales de Temperatura, Humedad Relativa, Iluminación y Presión sonora (Ruido), realizando las mediciones necesarias y presentando en tiempo real los indicadores o alarmas necesarios para indicar si los rangos están dentro o fuera de los rangos especificados en los estándares internacionales, de tal manera que se pueda saber en todo momento, los riesgos ambientales que pueden estar sufriendo los pacientes, y de esta manera, minimizar aquellas situaciones que lleven a sobrepasar los límites permitidos.

1.3 Objetivos

1.3.1. General

Diseñar y construir un Monitor de Parámetros Ambientales para una Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales, tomando en cuenta los rangos establecidos por los estándares internacionales.

1.3.2 Específicos

Diseñar medidores electrónicos de temperatura, humedad, iluminación y ruido ambiental que puedan obtener mediciones en tiempo real de los parámetros ambientales en una UCIN.

Construir un módulo instalable en el servicio de la UCIN para indicar cuando los valores de los parámetros ambientales de temperatura, humedad relativa, iluminación y ruido ambiental excedan los valores establecidos por los estándares internacionales.

Desarrollar una HMI (Interfaz Hombre-Máquina) para presentar los valores medidos de los parámetros ambientales en un equipo informatizado cuando sea requerido.

1.4 Justificación

El desarrollo de nuestro país va encaminado a que en un futuro muy cercano todas las instituciones, tanto públicas como privadas, busquen la excelencia y la mejora continua de sus procesos, de tal manera que estos puedan ser validados o acreditados por entidades externas auditoras que corroboren los sistemas de gestión de la calidad de sus procesos. Las instituciones que brindan salud a la población no son la excepción, la acreditación hospitalaria es una realidad a la que nos tendremos que enfrentar tarde o temprano.

Un sistema de gestión de la calidad exige una monitorización permanente de todos los parámetros involucrados en la prestación de un servicio, de tal manera que se puedan establecer indicadores de calidad. El presente trabajo pretende ser un pequeño esfuerzo para el aseguramiento de la calidad del ambiente en un área específica del hospital como lo es la UCIN, el cual, con pocas modificaciones, puede ser extensible a diversas áreas hospitalarias, tanto de atención a pacientes como administrativas.

1.5 Limitaciones

La implementación del monitor de parámetros ambientales tiene como meta principal determinar situaciones puntuales de rebase de límites de parámetros ambientales, para alertar al personal del área de UCIN en el caso que los registros de temperatura, humedad, luz y sonido ambiental estén fuera de los rangos establecidos por los estándares internacionales. Esto tendrá como resultado lógico la gestión necesaria para ajustar los equipos de aire acondicionado, la luminosidad ambiente mediante la disminución de la intensidad de la luz circundante y el ruido ambiental, bajando el volumen de alarmas u otros equipos, bajando la voz al hablar, o colocando barreras sonoras si el exceso de ruido proviene del exterior. No se ha pretendido diseñar medidores altamente precisos de estos parámetros, por lo que el proceso de diseño se ha basado en datos experimentales, cotejados con un equipo real calibrado en fábrica. Los valores de los datos obtenidos son muy cercanos a los reales, pudiendo darnos la certeza suficiente para los propósitos de alerta que el monitor cumple.

Capítulo 2

Marco Teórico

En el Capítulo 2 se presentan cuáles son los métodos posibles o instrumentos para realizar la medición de los parámetros ambientales, además se presentan las alternativas entre las cuales se puede escoger el diseño del módulo para una Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales.

2.1 Instrumentación para la medición de parámetros ambientales

2.1.1 Sensores de Temperatura

La temperatura se define como el grado específico de calor o frío cuando está referenciado a una escala en particular¹². Los sensores de temperatura son aquellos dispositivos o mecanismos artificiales utilizados por el ser humano para conocer el grado de calor o frío existente en un objeto o lugar. Ya en forma natural, el cuerpo humano cuenta con biosensores internos y externos que le indican al cerebro si el calor del cuerpo es elevado o bajo.

Los sensores de temperatura pueden pertenecer a tres familias en particular: Los electromecánicos, los resistivos y los electrónicos.

Los sensores electromecánicos pueden ser: a) Termostatos bimetalicos: los cuales se basan en el voltaje generado por la expansión o contracción de dos metales unidos ante los cambios de temperatura, y b) Termostatos de Bulbo o Capilares: Se basan en la expansión o contracción de un fluido ante los cambios de temperatura. Estos sensores de temperatura son muy usados para monitorear o controlar sistemas dependientes de la temperatura, son muy robustos y se usan principalmente en aplicaciones industriales dado su amplio rango de medición de temperaturas (entre -200° y 2300°C)

Los sensores resistivos llamados también Termistores¹³ son dispositivos que cambian su resistividad en función de la temperatura que los circunda. Consisten típicamente de una combinación de dos o tres capas de óxidos metálicos que se sintetizan en una base de cerámica, cubiertos por material epóxico o vidrio. El termistor puede ser del tipo PTC (Positive Temperature Coefficient) el cual aumenta su resistencia al aumentar su temperatura o del tipo NTC (Negative Temperature Coefficient) el cual disminuye su resistencia al aumentar la temperatura. La relación entre resistencia y temperatura es exponencial inversa en ambos casos.

Este tipo de sensor es muy utilizado para aplicaciones de medición de temperaturas fisiológicas, ya que en el rango de posibles temperaturas corporales (de 30° a 40°C), presenta una relación cuasi-lineal entre resistencia y temperatura, facilitando su post-procesamiento electrónico. También son muy utilizados en medidores de temperatura ambiental dada su facilidad de manejo y configuración electrónica. Una desventaja es que ameritan calibración periódica.

¹² Definición tomada del libro “Sensor Technology Handbook”, Wilson, Jon S. (2005), pag.531

¹³ Termistor: Palabra compuesta para indicar un “Resistor Térmico” o una resistencia eléctrica cuyo valor depende de la temperatura.

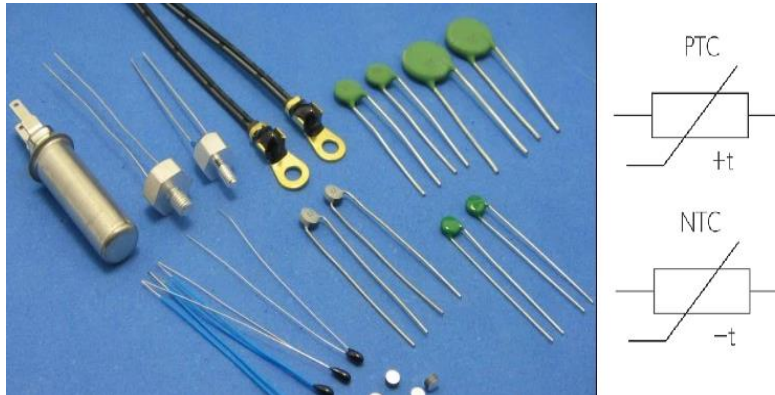


Figura 4. Diferentes tipos de Termistores y su simbología

Los sensores electrónicos de temperatura son aquellos que ya han sido fabricados de manera encapsulada y que ya están configurados para mediciones específicas. Entre muchos, podemos citar los siguientes: a) el circuito integrado LM35: es un circuito integrado que proporciona una salida de voltaje proporcional a la temperatura que mide (salida analógica), su encapsulado puede encontrarse para mediciones de superficie o ambiente. b) el circuito integrado LM77: es un sensor de temperatura con salida digital, c) el sensor DHT11: es un sensor de temperatura y humedad relativa que está especialmente diseñado para funcionar con el circuito embebido ARDUINO¹⁴, su salida es digital y es necesario poseer un código especial de librería de Arduino para leerlo. Su principio de funcionamiento para medir temperatura es del tipo termistor NTC.

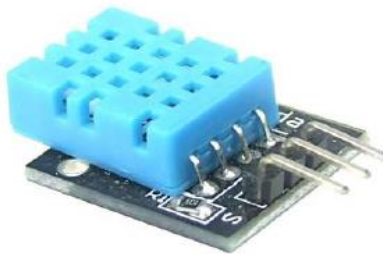


Figura 5. Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11 para Arduino

2.1.2 Sensores de Humedad

La humedad se define como el vapor de agua contenido en el aire y otros gases¹⁵. La humedad se mide generalmente en términos de humedad absoluta (la relación de la masa de vapor de agua entre el volumen de aire o gas), punto de rocío (la temperatura y la presión a la que un gas comienza a condensarse en un líquido), y la humedad relativa (la relación entre el contenido de humedad de aire en comparación con el nivel de humedad saturada a la misma temperatura o

¹⁴ ARDUINO es un circuito electrónico embebido ideado para diseñar controles electrónicos manejados mediante un código o software.

¹⁵ Definición tomada del libro “Sensor Technology Handbook”, Wilson, Jon S. (2005), pag.271

presión).

El desarrollo reciente en la tecnología de semiconductores ha hecho posible que los sensores de humedad sean altamente precisos, duraderos y rentables. Los sensores de humedad más comunes son capacitivos, resistivos, y de conductividad térmica.



Figura 6. Sensor de Humedad Relativa tipo capacitivo

En un sensor de humedad relativa de tipo capacitivo, el cambio en la constante dieléctrica es casi directamente proporcional a la humedad relativa en el ambiente. El cambio típico en la capacitancia es 0.2-0.5 pF para el 1% de variación de humedad relativa. Los sensores de humedad resistivos miden el cambio de impedancia, que por lo general tiene una relación exponencial. Los sensores de humedad de conductividad térmica (también conocidos como sensores de humedad absoluta) miden la humedad absoluta mediante el cálculo de la diferencia entre la conductividad térmica del aire seco y la del aire que contiene vapor de agua. El sensor DHT11 es un sensor de temperatura y humedad relativa que está especialmente diseñado para funcionar con el circuito embebido ARDUINO¹⁶, su salida es digital y es necesario poseer un código especial de librería de Arduino para leerlo. Su principio de funcionamiento para medir humedad relativa es del tipo resistivo.

2.1.3 Sensores de Iluminación Ambiental

Un detector de luz convierte la energía radiante que se absorbe en un cambio de un parámetro del dispositivo tal como la resistencia, corriente o voltaje. También se pueden necesitar algo de electrónica de acondicionamiento de señal para convertir la salida básica del detector en una señal de voltaje más útil. Los tipos de sensores lumínicos más utilizados están contruidos a base de semiconductores, pudiendo ser del tipo fotoresistivo, de unión (fotodiodos y fototransistores) y celdas fotovoltaicas.

Los del tipo fotoresistivos varían su resistencia eléctrica ante la variación de luz que reciben, tal es el caso de las LDR (Light Dependant Resistor) las cuales varían su resistencia inversamente a la intensidad de luz que reciben, en una relación exponencial inversa. Los de tipo unión se basan en uniones de semiconductores tipo P y N las cuales cambian sus características conductivas ante la presencia de luz. Las celdas fotovoltaicas generan un voltaje directo a partir de la intensidad de luz que reciben.

¹⁶ ARDUINO es un sistema embebido diseñado para construir controles electrónicos manejados mediante un código

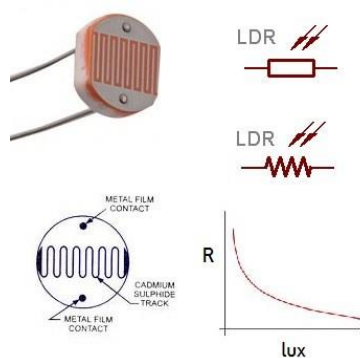


Figura 7. Resistencia dependiente de la Luz (LDR), simbología y relación resistencia-luz

2.1.4 Sensores de Ruido Ambiental (Sonido)

Llamamos sonido o ruido a la onda de presión del aire ejercida por el movimiento de las partículas de este, provocado a su vez por un objeto en movimiento. En el cuerpo humano, el oído es el biosensor que convierte estas ondas mecánicas en señales nerviosas, a través del transductor natural que es el tímpano. Llamamos onda sonora a aquella que puede percibirse como “sonido” por el oído humano: su frecuencia debe estar en el rango de 10 Hz a 20 KHz, y su intensidad a partir de los 10 decibeles.

Los sensores artificiales clásicos utilizados para percibir el sonido ambiente, son los micrófonos. Los micrófonos son dispositivos que transforman las ondas sonoras en una señal eléctrica útil y medible para su procesamiento¹⁷. Una aplicación práctica son los amplificadores de audio y los ecualizadores, entre otros. También pueden utilizarse, como lo es el caso de este trabajo, para medir la intensidad del sonido ambiental.

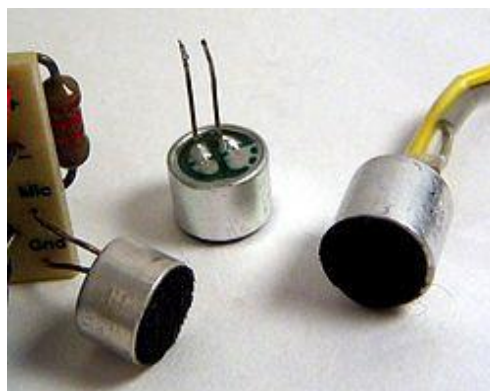


Figura 8. Micrófono tipo Capacitivo

¹⁷ Tomado del libro: The Mechatronics Handbook, Bishop, Robert H., CRC Press, 2002, pag.218

Los micrófonos pueden ser dinámicos, de tipo capacitivo o inductivo. Tanto los capacitivos como los inductivos se basan en el cambio de capacitancia o inductancia proporcional al movimiento que un diafragma transmite según la onda de presión sonora que percibe.

2.1.5 Acondicionamiento de las señales de los sensores

Típicamente, los sensores no se pueden conectarse directamente a los instrumentos de registro o los dispositivos que procesan la señal, ya que la señal puede ser incompatible, demasiado débil o ruidosa. La señal debe ser acondicionada, es decir, limpiada, amplificada y convertida en un formato compatible.

Este acondicionamiento por lo general es en la etapa analógica del circuito: en una primera instancia se busca linealizar la respuesta del sensor, es decir que su salida sea un valor eléctrico proporcional al parámetro físico que está midiendo. Luego, obtener voltajes o corrientes proporcionales, en el caso que el sensor sea del tipo resistivo, capacitivo o inductivo. En los casos en que el sensor por su naturaleza proporciona voltajes o corrientes de forma directa, esta etapa no es necesaria. También se requiere de filtros para rechazar el ruido eléctrico ambiental que pueda ser fuente de interferencias, para esto se utilizan filtros analógicos pasabanda, o especiales para el ruido de línea como los filtros Notch.

La etapa que sigue por lo general es la transformación de la señal analógica en una señal digital o ADC¹⁸, pudiendo entonces ser procesada por computadoras o circuitos embebidos que en realidad son microistemas computarizados. En esta etapa de procesamiento digital es que se lleva a cabo la presentación y registro de las señales tomadas por los sensores.

2.1.6 Los sistemas o circuitos embebidos

Hoy día la implementación de proyectos que involucren circuitos electrónicos se ha vuelto mucho más amigable. Es un hecho que cada vez más personas, que aun teniendo limitados conocimientos de electrónica, puedan incursionar en campos como la robótica o telecomunicaciones. Tanto los programas de computadora (software) como sus componentes electrónicos físicos (hardware) se han vuelto mucho más fáciles de implementar y manejar. Un ejemplo de esto es la tecnología “plug and play”, es decir a veces basta conectar un dispositivo a una computadora para que este funcione inmediatamente.

Los circuitos embebidos han venido a incursionar como una respuesta a la necesidad de montar con rapidez diversos proyectos que buscan solucionar problemas específicos. Al contrario de lo que ocurre con una computadora de propósito general (como por ejemplo una PC o MAC) que están diseñadas para cubrir un amplio rango de necesidades, los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas.

Las ventajas que presenta un sistema embebido al enfrentar la implementación de un proyecto de electrónica, en vez de su construcción etapa por etapa, es que mediante un programa o software se puede cambiar fácilmente el fin específico de lo que se requiere implementar. Por

¹⁸ ADC: Convertidor Analógico - Digital

ejemplo, con un sistema embebido se pueden construir sistemas electrónicos tan diferentes como un semáforo o un robot, con solo cambiar los componentes externos y el código o programa.

Existen hoy día diversos tipos y modelos de circuitos embebidos tales como los Tessel, Beaglebone, FPGA, Raspberry Pi o Arduino, entre muchos, cada una con características y capacidades diferentes. Los fabricantes por lo general distribuyen con sus tarjetas electrónicas, los sensores y componentes complementarios para sus sistemas embebidos.

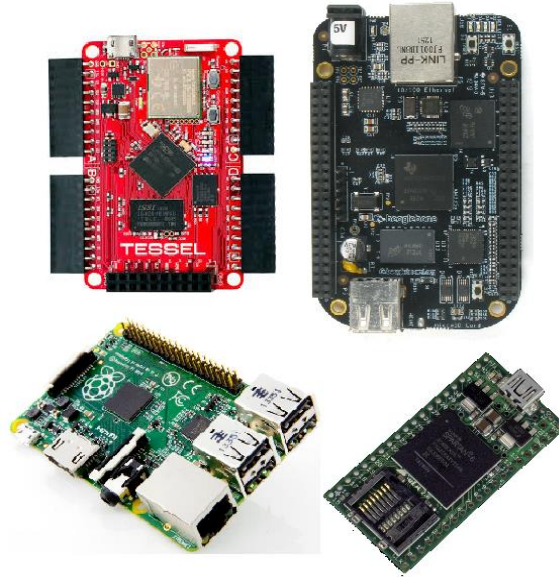


Figura 9. Diferentes tecnologías en sistemas embebidos (TESSEL, BEAGLEBONE, RASPBERRY PI y FPGA)

2.1.7 La tarjeta Arduino

La tarjeta Arduino fue ideada en Italia como un esfuerzo de un grupo de estudiantes del instituto IVREA¹⁹ en el año 2005 por utilizar sistemas electrónicos embebidos de bajo costo. El estudiante colombiano Hernando Barragán desarrolló el prototipo llamado WIRING sobre el cual los investigadores Massimo Branzi, David Cuartielles y Tom Igoe trabajaron dando como resultado la placa Arduino. Esta nueva placa de prototipado electrónico cumplía con dos características esenciales: su hardware era de bajo costo y su software era de código abierto. Esto fue suficiente para que esta placa se popularizara mundialmente para el diseño de sistemas de control electrónico con poca inversión y máximo rendimiento, sin comprometer la calidad. En El Salvador es uno de los sistemas embebidos más populares principalmente en el ámbito educativo debido al bajo costo de la placa y accesorios, relativa facilidad de manejo, software libre y de código abierto, entre otras ventajas. Sin embargo a pesar de tener pocos años de incursión en el medio, comienza a incursionar en otras áreas tales como la industria y las

¹⁹ Instituto Italiano que se dedicó a la investigación de nuevas tecnologías de prototipado electrónico y software libre.

telecomunicaciones.



Figura 10. Diferentes modelos del sistema embebido Arduino (UNA, MEGA y LEONARDO)

2.2 Medidores de parámetros ambientales en el mercado

Existe en el mercado una amplia variedad de marcas y fabricantes de equipos dedicados a la medición de parámetros ambientales. Una característica importante que cualquier equipo en el mercado debe cumplir es la calibración, lo cual garantiza la confiabilidad en las mediciones tomadas. Citaremos tres de entre muchas marcas de medidores de parámetros ambientales y sus características, para conocer el mercado de estas tecnologías a nivel mundial a manera de ejemplo.

2.2.1 Medidores ambientales marca EXTECH

Este equipo está diseñado para medición de cinco parámetros ambientales: Humedad, Temperatura, Luminosidad, Sonido y Velocidad del aire. Está fabricado en Estados Unidos, siendo la marca EXTECH ampliamente reconocida desde 1971 como fabricantes de equipos de prueba y medición. Poseen un laboratorio de Calibración certificado y que trabaja en conjunto con el NIST (Instituto Nacional de Normas y Tecnología de Estados Unidos). Además es portátil y fácil de manejar. Los costos de adquisición de este equipo pueden rondar entre los US\$300 a US400.



Figura 11. Medidor ambiental multiparámetros EXTECH modelo EN300

2.2.2 Medidores ambientales marca TESTO

TESTO es una compañía ubicada en Alemania, reconocida mundialmente por la calidad de su equipo de prueba y medición, portátiles y estacionarios. Posee medidores ambientales de parámetros individuales, así como multifunción. También proporciona con sus equipos certificados de calibración avalados por Organismos Metrológicos Europeos. Los medidores multiparámetros de este fabricante son considerados como uno de los mejores en cuanto a calidad y prerrogativas tecnológicas, aunque es de los equipos más onerosos del mercado. El modelo 480 mide temperatura, humedad, presión y velocidad del aire, luz y CO₂. Su precio es de €1,350 sin gastos de envío.



Figura 12. Medidor ambiental multiparámetros marca TESTO modelo 480

2.2.3 Medidores ambientales marca HT Instruments

Los medidores HT Instruments están fabricados en España, y fabrican un aparato específico para cada parámetro ambiental, por ejemplo poseen Luxómetros, Sonómetros, Termómetros e Higrómetros de forma separada. Cuentan con calibración y certificación avaladas por Organismos Metrológicos Europeos. El modelo HT307 es un medidor de intensidad lumínica y el modelo SC102 es un sonómetro, el valor en conjunto es de €250 aproximadamente sin incluir gastos de envío.



Figura 13. Luxómetro y Sonómetro marca HT modelos HT307 y SC102

2.2.4 Medidores ambientales marca OMEGA

OMEGA es un fabricante de equipos de medición de origen estadounidense con mucho renombre a nivel internacional. El modelo RH87 es un medidor ambiental digital multifunción que combina la función del nivel de sonido, luxómetro, medidor de humedad relativa, medidor de temperatura y anemómetro. Su precio es de US\$300 aprox. sin incluir gastos de envío.



Figura 14. Medidor multiparámetros marca OMEGA modelo RH87

2.2.5 Medidores ambientales marca HIBOK

Los equipos marca HIBOK son fabricados por HIBOK AUTOMATION PTE. LTD. Con sede en Singapur, China. El modelo DAGATRON 905 es ofrecido en muchos portales, donde se asegura su fiabilidad como medidor multifunción medio ambiental capaz de medir 6 parámetros relacionados con la calidad de aire, como son: CO₂, temperatura, humedad relativa y DP (punto de rocío). Su precio es de aproximadamente US\$250.



Figura 15. Medidor multiparámetros marca HIBOK modelo DAGATRON 905

2.2.6 Comparación de prestaciones y precios de los diferentes medidores multiparámetros.

Es posible comparar cada modelo presentado en los puntos anteriores, que parámetros pueden medir y sus precios, de tal manera que se pueda evidenciar las ventajas o desventajas de adquirir estas tecnologías, para efectuar el monitoreo de los parámetros ambientales en cualquier ambiente. A continuación se presenta una tabla comparativa a este respecto.

Tabla 4. Tabla comparativa de marcas, mediciones, precios, ventajas y desventajas de medidores ambientales en el mercado

Marca	Modelo	Parámetros Ambientales Medidos (Prestaciones)	Precio Aprox.	Ventajas	Desventajas
EXTECH	EN300	Temperatura, luz, sonido, humedad, velocidad viento	US\$300.00	Es de marca reconocida y precio accesible	No alerta al sobrepasar límites
TESTO	480	Temperatura, luz, sonido, humedad, velocidad viento, presión y CO ₂	€1,350.00	Es de marca reconocida	No indica al sobrepasar límites. Su precio es elevado
HT Instruments	HT307 y SC102	Luz y sonido, separadamente	€250.00	Precio accesible	No se integra en un solo medidor
OMEGA	RH87	Temperatura, luz, sonido, humedad, y presión	US\$300.00	Es de marca reconocida y precio accesible	No alerta al sobrepasar límites
HIBOK	DAGATRON 905	Temperatura, humedad, DP y CO ₂	US\$250.00	Precio accesible	No mide Luz ni Sonido. Es de marca no reconocida

Los precios no incluyen gastos de envío ni impuestos, por lo que podemos afirmar que contar con un medidor de parámetros ambientales adecuado y de marca reconocida, aunque ninguno realiza la labor monitoreo, ronda de US\$350 a US\$400 como mínimo.

2.3 Alternativas para la medición y monitorización de parámetros ambientales en la UCIN

Existen varias maneras de realizar el monitoreo continuo de los parámetros ambientales de la UCIN, uno de ellos es adquirir un equipo de medición de parámetros ambientales y realizar mediciones de manera periódica, esto requeriría adquirir un equipo multiparámetros y entrenar a una persona para realizar las mediciones respectivas. Luego confrontar con los límites permitidos y verificar que no se sobrepasen.

Otra alternativa es construir e instalar un aparato de forma permanente, construido ad-hoc para este propósito y que únicamente nos indique si alguno de estos parámetros está fuera de rango, y que además, si es necesario, se puedan obtener lecturas de los datos ambientales en un momento dado.

El presente trabajo constituye la elección de la segunda alternativa, en la que se implementa un aparato específico que vigile que estos parámetros no sobrepasen los límites establecidos por los estándares, y además tenga la opción de leer los datos de cada parámetro mediante una interfaz gráfica en una computadora.

Capítulo 3

Marco Metodológico

Este capítulo contiene las metodologías y criterios de diseño aplicados en la construcción de un módulo electrónico de medición de parámetros ambientales para una UCIN, que realice dos funciones fundamentales: Monitorizar que los parámetros ambientales estén dentro de los límites permitidos, con indicadores visibles en el lugar que alerten al personal en caso de que estos estuviesen fuera de los límites, y en segunda instancia, poder registrar los datos medidos diseñando una interfaz gráfica en computadora (HMI).

3.1 Aspectos de diseño del módulo de medición de parámetros ambientales para una UCIN

3.1.1 Diseño electrónico mediante el sistema embebido Arduino

Gracias a su relativa simplicidad y bajo costo, los sistemas embebidos han adquirido una gran aceptación a nivel mundial, principalmente para realizar diseños electrónicos de equipos tales como robots, vehículos aéreos no tripulados (UAV's), sistemas de control automático, entre otros; la placa Arduino en sus diferentes modalidades no es la excepción. Además, contar con los sensores específicos diseñados para trabajar con la placa y la estructuración de un código abierto basado en el lenguaje de programación C++, con abundantes ejemplos y literatura, favoreció la decisión para que el módulo se diseñara bajo este sistema embebido. A continuación se describen los componentes utilizados y su ensamble final.

3.1.2 La placa Arduino Uno

Entre los diferentes modelos de la placa Arduino, se decidió escoger para el diseño del módulo, la placa Arduino Uno. Las causas principales son dos: Este sistema posee 6 entradas analógicas (de las cuales se utilizarán solo dos como se verá más adelante) y 14 pines que se pueden configurar como entradas/salidas digitales (de las cuales se utilizarán 5), lo cual es suficiente para obtener las lecturas de los sensores ambientales y activar respuestas visuales ante el rebasamiento de los límites de los parámetros. Además, la capacidad de memoria y procesamiento nos permitirán comunicarnos con la aplicación de software en la computadora para presentar los datos, así como también la facilidad en obtener los programas, librerías y drivers debido a que forman parte del movimiento de código abierto.

3.1.3 El sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 para Arduino

Este sensor incluye un componente de medición de humedad de tipo resistivo y un componente de medición de temperatura tipo termistor NTC, y se conecta a un Microcontrolador de alto rendimiento de 8 bits, que ofrece una excelente calidad, respuesta rápida y capacidad anti-interferencia. Cada elemento DHT11 está estrictamente calibrado en laboratorio por lo que es altamente preciso en sus mediciones. Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria digital, que se utilizan por el proceso de detección de la señal interna del sensor. La interfaz en serie de un solo cable hace que la integración del sistema rápida y fácil. Por su pequeño tamaño, bajo consumo de energía y versatilidad lo convierten en una de las mejores opciones para diversas aplicaciones, incluyendo aquellas más exigentes. El Sensor

completo para Arduino es de 3 pines: Alimentación (5 VDC), tierra y señal de salida de datos de temperatura y humedad (digital).

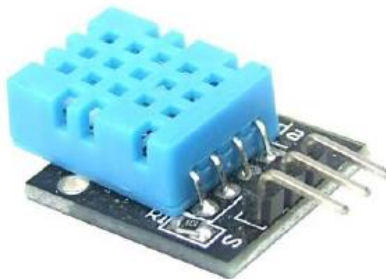


Figura 16. Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11 para Arduino

3.1.4 El sensor lumínico KY-018

El sensor KY-018 es una resistencia dependiente de la luz (LDR), muy útil para medir la intensidad de la luz. En la oscuridad, su resistencia es muy alta, a veces hasta $1M\Omega$, pero cuando el sensor LDR se expone a la luz, la resistencia se reduce drásticamente, incluso hasta unos pocos ohmios, dependiendo de la intensidad de la luz. Son ampliamente utilizadas en las cámaras, luces solares de jardín, entre otras aplicaciones variadas de control por iluminación. El sensor es alimentado por 5V, el circuito del sensor es básicamente una LDR en serie con una resistencia, lo que proporciona un voltaje de salida proporcional al cambio de resistencia de la LDR ante los cambios de Luz, señal que puede ser leída e interpretada por un código de Arduino.



Figura 17. Sensor de Intensidad Luminosa KY-018

3.1.5 El sensor de sonido KY-038

El sensor KY-038 es un micrófono del tipo capacitivo, ensamblado en una configuración puente y amplificador para obtener un voltaje de salida proporcional a la intensidad sonora que mide en el ambiente, posee dos salidas: una analógica que proporciona un valor de voltaje proporcional a la intensidad de sonido y una digital, que se pone en HIGH cuando el sonido sobrepasa un umbral establecido por un potenciómetro de precisión incorporado al sensor. Además posee dos diodos LED incorporados, uno que indica si el sensor está energizado, y el

otro que es paralelo a la salida digital.



Figura 18. Sensor de Intensidad Sonora KY-038

3.1.6 Indicadores de rebase de límites de parámetros ambientales mediante LED's

Se ha escogido para el diseño del módulo ambiental, diodos LED como indicadores del rebase de los límites de cada parámetro medido. Si los parámetros medidos se encuentran en el los rangos permitidos, los LED permanecerán apagados, si los límites son rebasados, los LED se encenderán. No se escogió colocar alarmas auditivas porque esto incrementaría el sonido ambiente a niveles no permitidos por el estándar.

3.1.7 Construcción física del módulo de parámetros ambientales

El módulo de parámetros ambientales se construirá de tal manera que pueda ser colocado en el ambiente de la UCIN y pueda sensar los parámetros en un punto intermedio de la sala, donde se encuentran los neonatos prematuros en sus incubadoras o cunas térmicas, con cuatro indicadores LED que indiquen a los encargados del área en cada momento si se están rebasando los límites de Temperatura, Humedad Relativa, Iluminación y Sonido. Para ello se escogerá una carcasa que albergue los indicadores LED, la placa de Arduino Uno, los sensores KY-018, KY-038 y DHT11, con los puertos de la placa Arduino accesibles, alimentada por una fuente de voltaje de 9VDC.

3.1.8 Código de Arduino para el funcionamiento del módulo

El código de la placa Arduino para el módulo de parámetros ambientales deberá desarrollar las siguientes funciones: Lectura de dos entradas analógicas: una del sensor KY-018 (Detector de Luz) y otra del sensor KY-038 (Detector de Sonido), para ello se han escogido las entradas analógicas A0 y A1 del Arduino. La entrada digital 02 se ha escogido para la lectura del sensor de humedad y temperatura DHT11 y las salidas digitales de la 03 a la 06 se han escogido como salidas para los indicadores LED. El código deberá definir los pines de entrada, los de salida, se deberán utilizar las librerías del sensor DHT11, recoger las lecturas de los pines analógicos, procesar los datos leídos y escribir en el monitor de Arduino, los resultados de las lecturas con sus unidades respectivas, la Temperatura en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), la Humedad Relativa en porcentaje (%), el ruido ambiental en Decibeles (dB) y la Iluminación en Luxes (lx). El módulo no poseerá lectura directa de datos, solo los cuatro indicadores de rebase de límites, para leer los datos deberá conectarse a una computadora con el programa para Arduino y activar su monitor.

3.2 Aspectos de diseño de la interfaz gráfica (HMI) para la lectura de datos de parámetros ambientales del módulo de medición de parámetros ambientales para una UCIN

3.2.1 Los programas informáticos disponibles para presentación de datos electrónicos

Se tiene la certeza que la lectura de datos en el monitor serial para Arduino es bastante limitada, solo ofrece una pantalla con datos de manera básica. Es posible con programas especialmente diseñados para la presentación de datos construir una presentación mucho más completa y profesional de los datos leídos por el módulo de parámetros ambientales. Entre ellos podemos mencionar: Visual Basic, Matlab, LabVIEW, entre otros. Para este proyecto se ha escogido el programa LabVIEW para la presentación de los datos en pantalla de una manera más profesional, de tal manera que los datos puedan ser mostrados en una pantalla con mejores recursos que el dato numérico básico. Además, es ventajosa para efectos de calibración y control una HMI de mejores alcances visuales.

3.2.2 El Programa LabVIEW

LabVIEW²⁰ es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.²¹

LabVIEW facilita enormemente el trabajo de programación para poder construir aplicaciones tecnológicas en una computadora, y su fabricante, National Instruments (NI)²², se está actualizando constantemente con los requerimientos del mercado. Este último aspecto es particularmente importante ya que en vista del auge de la tableta de diseño electrónico Arduino, NI lanzó en el año 2009 un paquete de herramientas y drivers para enlazar Arduino con el programa LabVIEW. Esto último se ha aprovechado en el presente proyecto para diseñar una interfaz de lectura de parámetros y presentación en un entorno mejorado.

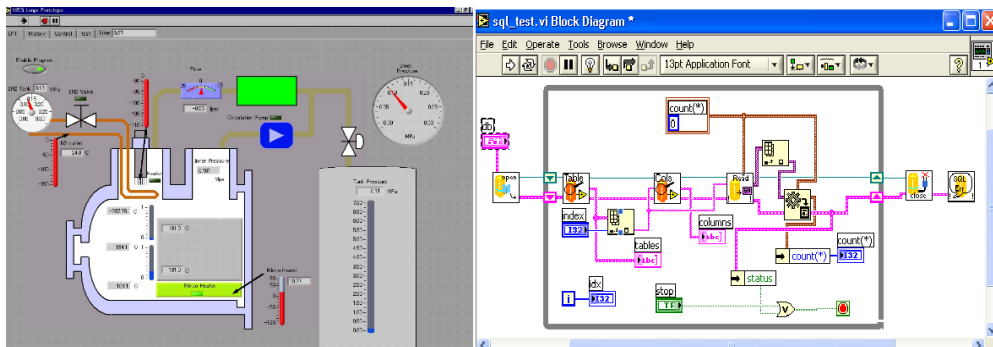


Figura 19. Ejemplo de una Interfaz Gráfica de Lab-VIEW y programa de bloques que la genera

²⁰ Acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench

²¹ Tomado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

²² National Instruments: Empresa dedicada a la fabricación de tecnología para la industria y la educación, con sede en Texas, EEUU

Capítulo 4 Diseño final y análisis de resultados

4.1 Descripción del diseño final implementado

4.1.1 Diseño físico (Hardware)

El diseño del Módulo de Parámetros Ambientales para la Unidad de Intensivos Neonatales es un equipo compuesto por una tableta Arduino Uno como procesador del mismo, un sensor DHT11 para medir Temperatura y Humedad Relativa Ambiente, un sensor KY-018 para medir iluminación ambiental y un sensor KY-038 el cual es un micrófono para medir intensidad sonora en el ambiente. La carcasa es de baquelita, se ha dejado el espacio al lado izquierdo para la conexión de cable USB y fuente de voltaje de 9 VDC. Tal como se muestra en la Figura 17, Al frente se observan dos ventanas para permitir a los sensores interactuar con el ambiente de la UCIN, y 4 diodos LED de color rojo, que son los indicadores de rebase de límites establecidos por los Estándares recomendados para el diseño de Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales emitidos por la Conferencia sobre el Diseño de UCIN, Enero 26, 2012 Clearwater Beach, Florida, EEUU y que coinciden con los Estándares del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, del Gobierno de España.



Figura 20. Módulo de Monitorización de Parámetros Ambientales para una UCIN

El equipo puede funcionar en dos modalidades: 1) Alimentado por la fuente de voltaje y funcionando con un programa cargado en el Arduino, el cual está monitorizando que los parámetros no se salgan de los límites establecidos, de lo contrario un LED color rojo se enciende indicando el rebase. 2) Conectando el cable USB, cargando el código LIFA Base en Arduino, que es el código proporcionado por NI para establecer comunicación con el Arduino y el software LabVIEW, y abriendo el programa VI de LabVIEW para el módulo de parámetros ambientales donde se aprecia la Interfaz construida para el módulo, que consta de la medición

numérica de los valores de los cuatro parámetros, un indicador tipo termómetro para la temperatura, uno tipo tanque para la humedad, uno de medidor analógico para el sonido y un medidor de barra para la iluminación, con sus respectivos indicadores de rebase de límites.

4.1.2 Diseño de los códigos y programas (Software)

4.1.2.1. Diseño del código para Arduino del módulo

Para el código de Arduino, se tomó como base el programa ya establecido para la medición de temperatura y humedad relativa del sensor DHT11 con sus librerías incluidas. Se estableció el pin digital 2 para la entrada de los datos del DHT11.

```
dht_11  DHT.cpp  DHT.h
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

Figura 21. Líneas de código para configuración del sensor DHT11

Seguidamente se establecieron las variables a utilizar por el programa, incluidas aquellas que almacenan los datos leídos (variables de entrada “sensorPin” y “sensorPin1” para los sensores KY-038 y KY-018 respectivamente) en los sensores del módulo, que se encuentran en los pines A0 y A1 respectivamente; y aquellas que manejan los LED indicadores (variables de salida “ledPin1”, “LedPin2”, “ledPin3” y “ledPin4” que corresponden a la escritura en los pines digitales del 3 al 6). Además se definen las variables que contendrá el dato numérico de la lectura del parámetro calculado con base a las mediciones de los sensores (variables “luz” y “sonido”). Las variables “sensorValue” y “sensorValue1” son las variables que representarán las lecturas crudas de los sensores conectados a A1 y A0.

```
int sensorPin = A1;
int sensorPin1 = A0;
int ledPin1 = 3;
int ledPin2 = 4;
int ledPin3 = 5;
int ledPin4 = 6;
int sensorValue = 0;
int sensorValue1 = 0;
int luz = 0;
int sonido = 0;
```

Figura 22. Líneas de código para establecer variables a utilizar en el programa

Es necesario a continuación establecer la función de cada pin del Arduino utilizado en modo de entrada o salida, el establecimiento de comunicación con el sensor DHT11 y la lectura digital de datos, en la función “setup” del Programa. Como se puede apreciar, se establecieron los pines analógicos A0 y A1 como entradas de datos y los pines digitales 3, 4, 5 y 6 como salidas para encender o apagar los LED indicadores de rebase de límites.

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); //Se inicia la comunicación serial  
  dht.begin(); //Se inicia el sensor DHT11  
  pinMode(sensorPin, INPUT);  
  pinMode(sensorPin1, INPUT);  
  pinMode(ledPin1, OUTPUT);  
  pinMode(ledPin2, OUTPUT);  
  pinMode(ledPin3, OUTPUT);  
  pinMode(ledPin4, OUTPUT);  
}
```

Figura 23. Líneas de código para establecer entradas, salidas y comunicación digital

A continuación se pasa a la parte 2 de todo programa de Arduino: la función “loop” la cual se estará ejecutando de manera continua. En primer lugar procedemos a leer los datos del sensor de temperatura y humedad DHT11, y a escribirlos en el monitor serial:

```
void loop(){  
  float h = dht.readHumidity(); //se lee la humedad  
  float t = dht.readTemperature(); // se lee la temperatura  
  Serial.println("Humedad: ");  
  Serial.println(h);  
  Serial.println("Temperatura :");  
  Serial.println(t);  
  // se imprime las variables de temperatura y humedad
```

Figura 24. Líneas de código para inicializar la función “loop”, leer y presentar los datos de temperatura y humedad relativa

En segunda instancia, es necesario calcular los valores de iluminación en Luxes y los valores de Sonido en Decibeles. Para este propósito, se utilizó un medidor de parámetros ambientales real calibrado de fábrica, un equipo marca EXTECH, modelo EN300.



Figura 25. Medidor de Parámetros Ambientales marca EXTECH modelo EN300 utilizado para efectos de ajuste y calibración del módulo de parámetros ambientales para una UCIN

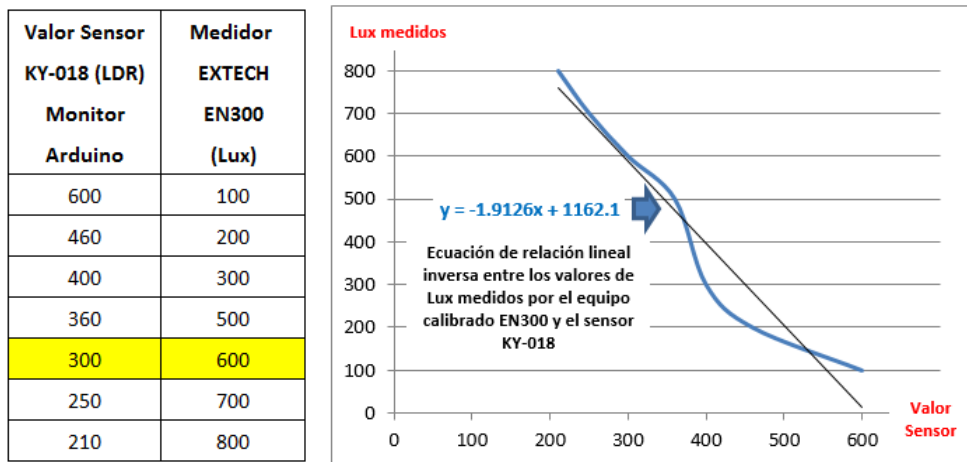
Para establecer una relación entre los valores entregados por el sensor y los valores en decibeles y luxes, se establecieron tablas de datos y relaciones matemáticas entre ambos datos. Para los

datos de iluminación, se comprobó que entre los datos medidos con el equipo EN300 a diferentes niveles de luz, y los datos entregados por el sensor KY-018 de Arduino y leídos en el monitor serial, se pudo establecer una relación lineal de dichos datos, siendo el valor límite de 600 Lux correspondiente a una lectura de 300 proveniente del sensor. La herramienta matemática utilizada es la regresión lineal, la cual consiste calcular la fórmula de la línea recta relacional con base a mediciones de campo obtenidas experimentalmente. Con base a varios datos medidos, se pudo establecer la ecuación lineal para calcular cualquier valor en Luxes con base a un valor emitido por el sensor KY-018, siendo la ecuación como sigue a continuación:

$$\text{Valor de Iluminación (Lux)} = -1.9126 (\text{Lectura del sensor}) + 1162.1 \quad (1)$$

A continuación se puede observar la tabla de datos experimentales, la curva de datos experimentales (en color azul), la curva rectilínea obtenida por regresión lineal y la ecuación respectiva.

Tabla 5. Tabla y curvas para la obtención de valores de medición en Lux del Módulo diseñado



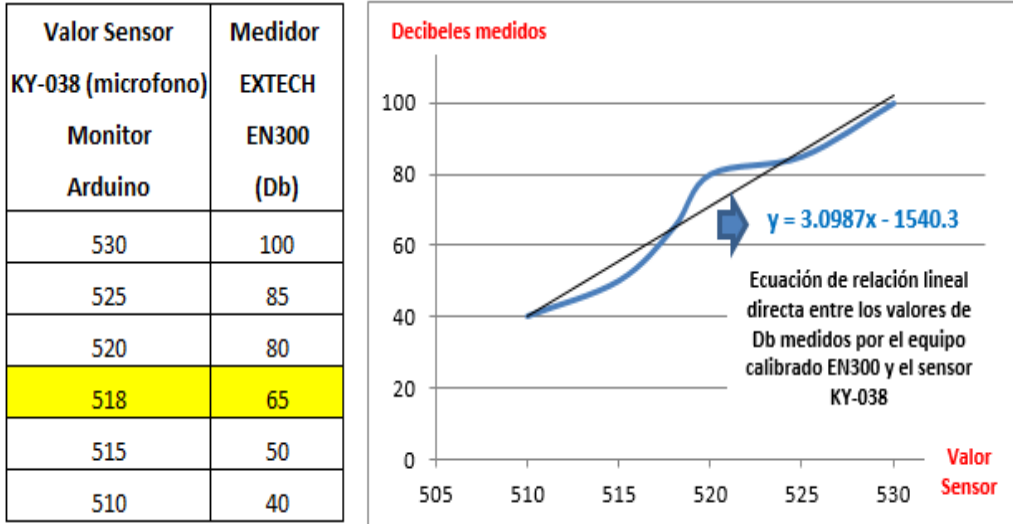
Esta relación se transfiere al código del proyecto para generar los datos de Iluminación en unidades Lux para el módulo diseñado. Es importante notar que los datos serán menos precisos a medida la intensidad de luz disminuye, pero el punto que interesa es el límite de 600 Lux donde el indicador se activará, y en este punto los datos de la curva experimental y de regresión coinciden. El resto de datos será aproximado.

De igual manera, para la medición de intensidad sonora, se relacionaron los datos medidos con el equipo EN300 a diferentes niveles de sonido, y los datos entregados por el sensor KY-038 de Arduino y leídos en el monitor serial, pudiéndose establecer una relación lineal de dichos datos, siendo el valor límite de 65 Decibeles correspondiente a una lectura de 518 proveniente del sensor. La herramienta matemática utilizada es la regresión lineal, la cual consiste calcular la fórmula de la línea recta relacional con base a mediciones de campo obtenidas experimentalmente. Con base a varios datos medidos, se pudo establecer la ecuación lineal para calcular cualquier valor en Decibeles con base a un valor emitido por el sensor KY-038, siendo la ecuación como sigue a continuación:

$$\text{Valor de Intensidad Sonora (dB)} = 3.0987 (\text{Lectura del sensor}) - 1540.3 \quad (2)$$

A continuación se puede observar la tabla de datos experimentales, la curva de datos experimentales (en color azul), la curva rectilínea obtenida por regresión lineal y la ecuación respectiva.

Tabla 6. Tabla y curvas para la obtención de valores de medición en dB del Módulo diseñado



Una vez establecidas estas dos relaciones, se procede a cargar las fórmulas en el código del programa para poder así calcular los valores en Lux y Decibeles, para su posterior presentación en el monitor serial. Sus valores serán aproximados, pero los valores límites sí están ajustados a la medida requerida por los estándares. Finalmente, se emite el comando para escribir los valores.

```

sensorValue = analogRead(sensorPin);
sensorValue1 = analogRead(sensorPin1);
luz = (sensorValue * -1.9126)+ 1162.1;
// se calcula el valor en lux de la iluminación
sonido = (sensorValue1 * 3.0987) - 1540.3;
// se calcula el valor en decibeles del sonido
Serial.println("Luz_lx: ");
Serial.println(luz);
Serial.println("Sonido_dB: ");
Serial.println(sonido);
    
```

Figura 26. Líneas de código para calcular el valor en Lux y Decibeles y escribir sus datos en el monitor serial

Por último se procede a comparar los valores de temperatura, humedad relativa, iluminación e intensidad luminosa obtenidos, con los límites permitidos por el estándar adoptado, y proceder a emitir una alerta visible (diodos LED rojos) si estos parámetros son rebasados. Para ello se establecen líneas de comparación que de ser afirmativas, activarán el “ledPin” correspondiente, poniéndolo en un estado “HIGH”. Si la condición no se cumple, permanecerán en estado

“LOW”.

```

// comparación y encendido indicadores
if (luz>=600){digitalWrite(ledPin1, HIGH);
delay(1000);
}
else{
digitalWrite(ledPin1, LOW);
}
if (sonido>=65){digitalWrite(ledPin2, HIGH);
delay(1000);
}
else{
digitalWrite(ledPin2, LOW);
}
if (t<=22| or t>=26){digitalWrite(ledPin3, HIGH);
delay(1000);
}
else{
digitalWrite(ledPin3, LOW);
}
if (h<=30 or h>=60){digitalWrite(ledPin4, HIGH);
delay(1000);
}
else{
digitalWrite(ledPin4, LOW);
}

```

Figura 27. Líneas de código para activar los indicadores LED en caso exista un rebase de los límites

De esta manera queda integrado el código en Arduino, el cual comandará el módulo mientras esté funcionando en la UCIN, de manera permanente, los valores de los datos mostrados puede observarse en el monitor serial. Solo en los casos que se requieran mejores lecturas, se utilizará la interfaz con el programa LabVIEW, que se describe a continuación.

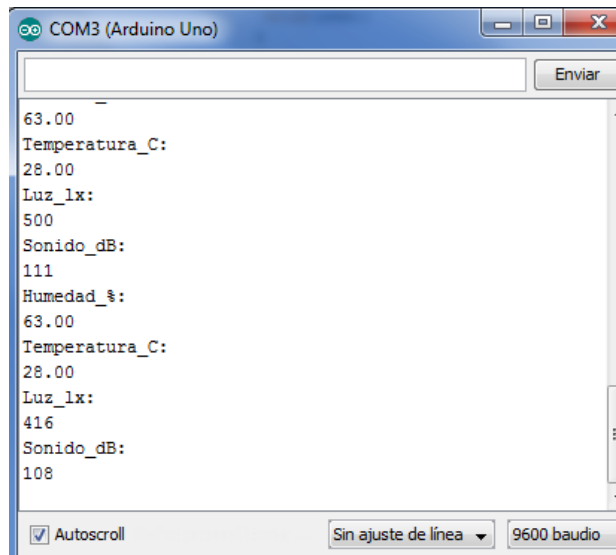


Figura 28. Monitor serial del código del módulo que muestra los datos medidos

4.1.2.2. Diseño de la interfaz HMI para el módulo

Para que los datos del Arduino puedan ser leídos en una interfaz HMI mucho más atractiva visualmente, dado que el aspecto ergonómico también es parte de un buen diseño, se decidió construir una interface utilizando el programa LabVIEW, versión 2013. Para lograr este objetivo, en primera instancia se tuvo que instalar la caja de herramientas (toolkit) con las aplicaciones de Arduino en LabVIEW, mismas que son gratuitas y pueden descargarse de la página de NI, misma que se muestra a continuación.

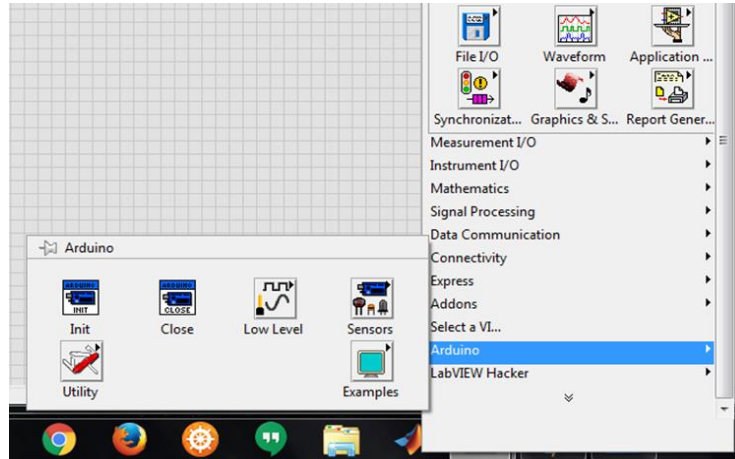


Figura 29. Toolkit de Arduino para LabVIEW

Seguidamente se instaló el driver que permite la comunicación en el puerto serial entre Arduino y LabVIEW, librería NI-VISA²³, misma que se puede descargar gratuitamente del sitio web de NI. Como tercera acción, se cargó el código del programa “LIFA-Base.ino” en el Arduino, el cual habilita la comunicación entre Arduino y LabVIEW.

Una vez completados estos tres pasos, se puede proceder a construir el programa en forma gráfica o de bloques, para leer los datos de los pines A1, A0, D2 y poder representar gráficamente los valores de temperatura, humedad relativa, iluminación e intensidad sonora en un entorno más profesional que el monitor serial de Arduino. A continuación se muestra el programa en bloques diseñado en LabVIEW para el módulo de monitorización de parámetros ambientales de la UCIN.

²³ VISA es un acrónimo de *Virtual Instrument Software Architecture*

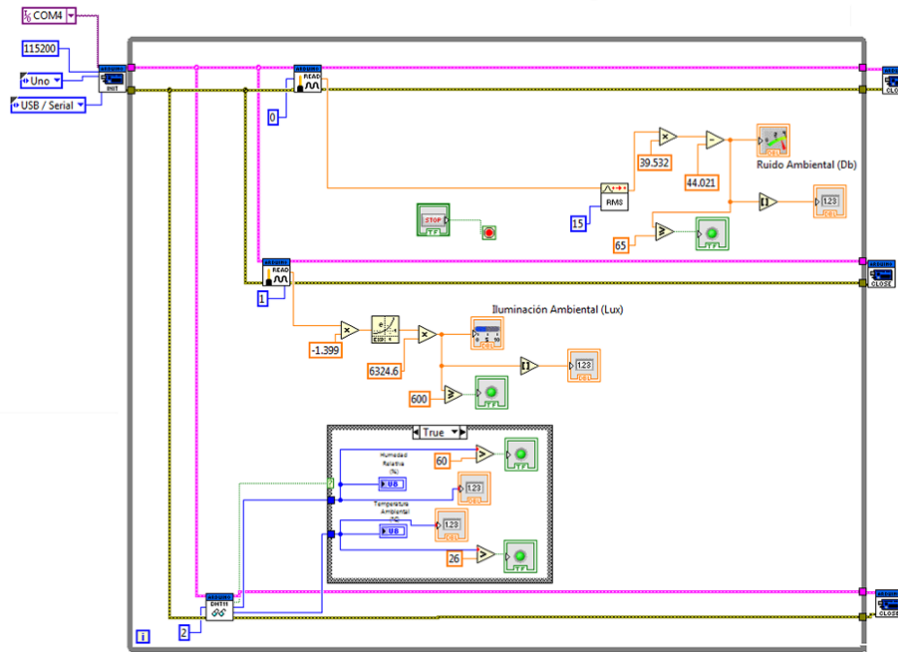


Figura 30. Programa de Bloques en LabVIEW para el módulo diseñado

Para el software LabVIEW, se debe construir a la par el programa de bloques y la interfaz gráfica, misma que se presenta a continuación.

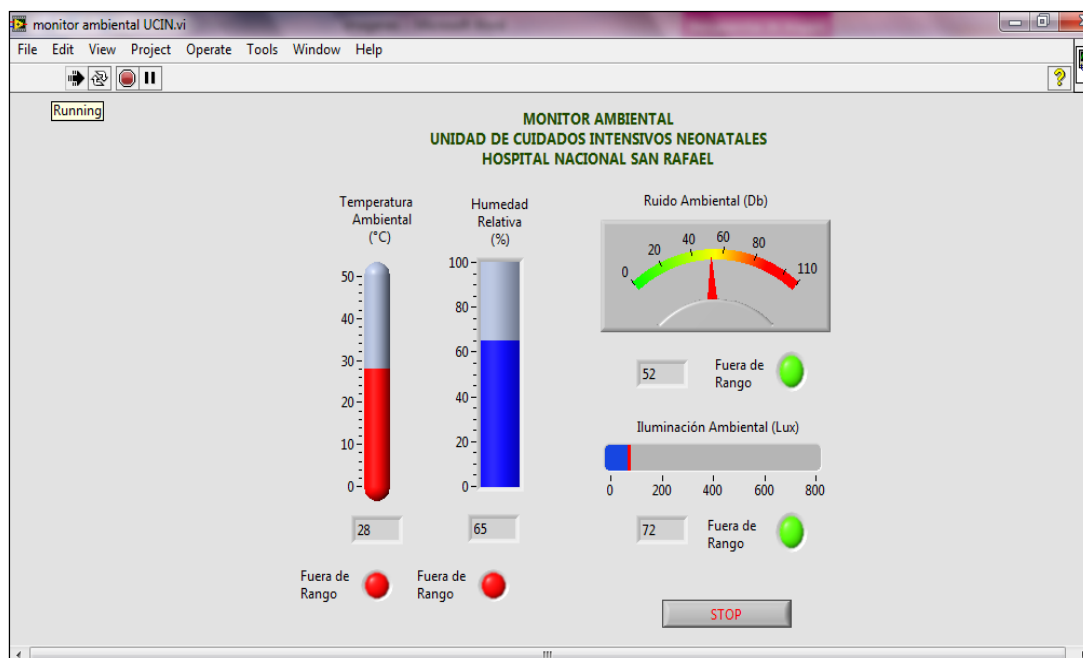


Figura 31. Interfaz en LabVIEW para el módulo

Las lecturas de los sensores realizadas por LabVIEW son muy diferentes que las lecturas de los sensores proporcionadas por el código de Arduino del módulo. Para el sensor DH11, existe un bloque específico para la lectura de los datos digitales.

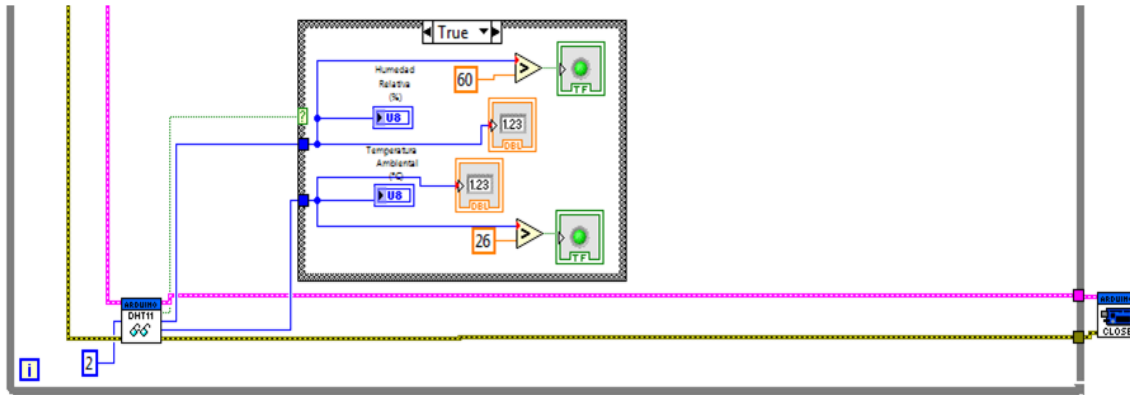


Figura 32. Bloque de Lectura del sensor DHT11 del toolkit de Arduino en el entorno LabVIEW

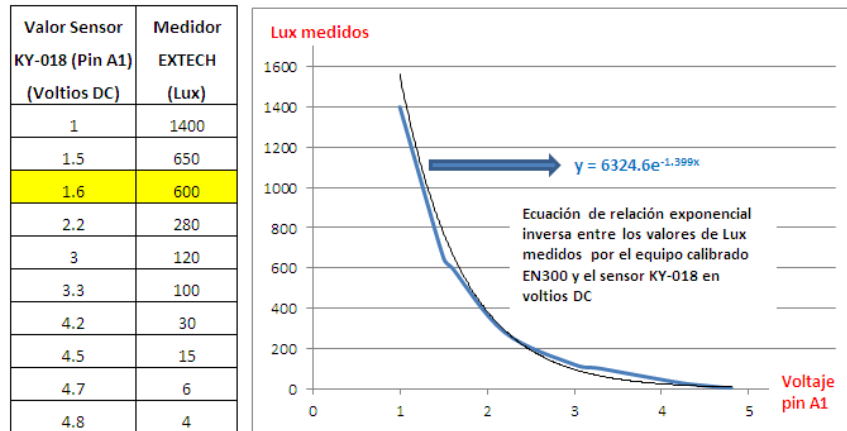
Las lecturas de los sensores KY-018 y KY-038 están representadas por voltajes proporcionales al parámetro medido, de entre 0 y 5 VDC. Por tanto, a nivel de programación de bloques, debe lograrse nuevamente una correlación entre los voltajes que los sensores envían y los datos en Lux y Decibeles que requiere el módulo.

Para establecer una relación entre los valores entregados por los sensores KY-018 y KY-038 para la detección lumínica y de sonido respectivamente, en voltajes de entre 0 y 5VDC, y los valores en Luxes y Decibeles, se establecieron nuevamente tablas de datos y relaciones matemáticas entre ambos datos. Para los datos de iluminación, se comprobó que entre los datos medidos con el equipo EN300 a diferentes niveles de luz, y los datos entregados por el sensor KY-018 de Arduino en voltajes de 0 a 5VDC, se establece una relación exponencial entre ambos grupos de datos. La herramienta matemática utilizada es la regresión exponencial, la cual consiste en calcular la fórmula de la función exponencial relacional con base a mediciones de campo obtenidas experimentalmente. Con base a varios datos medidos, se pudo establecer la ecuación exponencial para calcular cualquier valor en Luxes con base a un valor emitido por el sensor KY-018 en voltios, siendo la ecuación como sigue a continuación:

$$\text{Valor de Iluminación (Lux)} = 6324.6 \times e^{(-1.399 \times \text{Lectura sensor})} \quad (3)$$

A continuación se puede observar la tabla de datos experimentales, la curva de datos experimentales (en color azul), la curva exponencial obtenida por regresión exponencial y la ecuación respectiva.

Tabla 7. Tabla y curvas para la obtención de valores de medición en Lux en el programa LabVIEW



Se puede apreciar la parte del programa en LabVIEW correspondiente a esta función. También se pueden apreciar el establecimiento de los límites con bloque lógicos.

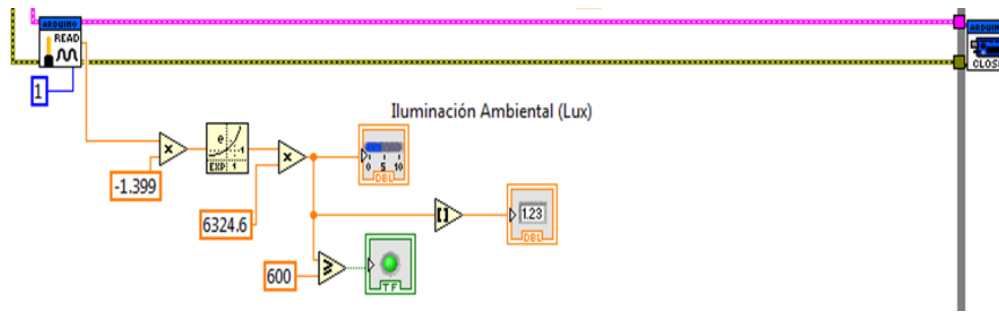


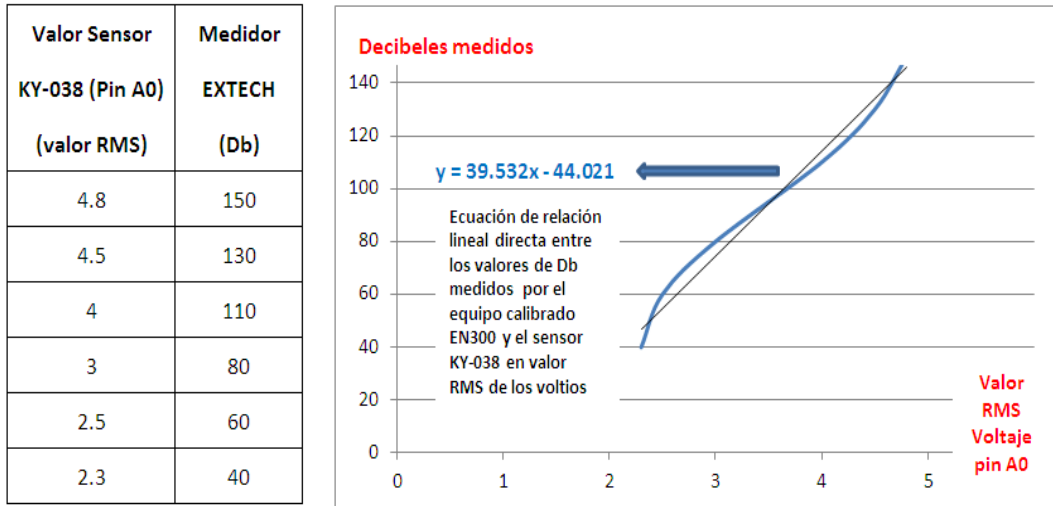
Figura 33. Bloques para la representación de iluminación en Luxes para LabVIEW

De igual manera, para la medición de intensidad sonora, se relacionaron los datos medidos con el equipo EN300 a diferentes niveles de sonido, y los datos entregados por el sensor KY-038 en forma de voltaje RMS de la señal de DC entre 0 y 5 (se utilizó el valor RMS de la señal pues la señal del sensor es estocástica, por lo que no se pueden tomar los datos puntuales, recogiéndose como representación de su potencia el valor RMS) pudiéndose establecer una relación lineal de dichos datos. La herramienta matemática utilizada es la regresión lineal, la cual consiste calcular la fórmula de la línea recta relacional con base a mediciones de campo obtenidas experimentalmente. Con base a varios datos medidos, se pudo establecer la ecuación lineal para calcular cualquier valor en Decibeles con base a un valor emitido por el sensor KY-038, siendo la ecuación como sigue a continuación:

$$\text{Valor de Intensidad Sonora (dB)} = 39.532 \times (\text{RMS lectura sensor}) - 44.021 \quad (4)$$

A continuación se puede observar la tabla de datos experimentales, la curva de datos experimentales (en color azul), la curva rectilínea obtenida por regresión lineal y la ecuación respectiva.

Tabla 8. Tabla y curvas para la obtención de valores de medición en Decibeles en el programa LabVIEW



Se puede apreciar la parte del programa en LabVIEW correspondiente a esta función, y su representación en la Interfaz. También se pueden apreciar el establecimiento de los límites con bloque lógicos y matemáticos.

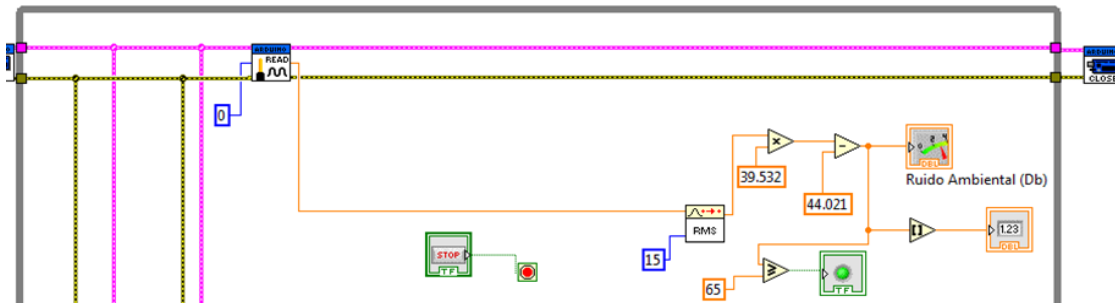


Figura 34. Bloques para la representación de ruido ambiental en Decibeles para LabVIEW

De esta manera pueden leerse los datos de los parámetros ambientales medidos por los sensores en una interfaz gráfica mejorada y con una mejor presentación, con posibilidades de expansión a mejoras o ampliaciones futuras.

4.2 Análisis funcional

El Módulo de Monitorización de Parámetros Ambientales para una Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales diseñado y construido en este proyecto, viene a proporcionar una respuesta a las necesidades tecnológicas emergentes en nuestro país, y que gracias al auge de las tecnologías de sistemas embebidos, se puede construir con poca inversión y con las características propias y adecuadas a una necesidad específica. Esto puede ser extendido a otras necesidades en el ámbito hospitalario no solamente de estandarización y monitorización ambiental, sino también a tecnologías biomédicas de diagnóstico y tratamiento.

El funcionamiento de este equipo se vuelve muy versátil ya que su mantenimiento preventivo es mínimo (limpieza externa), y el mantenimiento correctivo se limita a cambios de sensores, la tarjeta Arduino o la fuente de alimentación de 9VDC que podrían dañarse por el uso con el tiempo o accidentes. La inducción para utilizar el equipo también es mínima, se limita a la lectura de los indicadores LED de encendido al superar los límites de los parámetros ambientales, según recomendaciones de estándares internacionales. El uso de la Interfaz en LabVIEW se reserva para personal más capacitado y equipo con este software instalado. Sin embargo, cualquier persona podría fácilmente descargar en una computadora el código de Arduino, conectar un cable USB al equipo, y leer en el monitor serial los valores de los parámetros ambientales en un momento dado.

4.3 Análisis de costos

El costo de construcción del módulo contando solo con los materiales, placa Arduino, sensores y fuente de 9VDC, asciende aproximadamente a US\$100.00, en cambio adquirir un equipo multiparámetros en el mercado de buena calidad pudo haber costado US\$400.00. Respecto al software utilizado, el programador para Arduino es de libre distribución, es decir, no posee costo adicional; para la consola de LabVIEW sí se necesita tener este software instalado, cuyo valor de licencia es aproximadamente US\$1,100, aunque puede instalarse una licencia gratuita con fines académicos. Sin embargo la interfaz de LabVIEW para fines prácticos es opcional, solamente expande las capacidades del módulo, mismo que es funcional sin este software. Obviamente en el costo del módulo no se contabilizan las horas de trabajo invertidas por el diseñador y constructor, ya que es un intento por buscar soluciones específicas a problemas reales en nuestro medio. El hecho de patentar y producir en serie este tipo de equipos podría abaratar sus costos y poder algún día competir con fabricantes internacionales.

4.4 Calibración y validación de los datos

El equipo ha sido ajustado para la medición de valores de parámetros ambientales con respecto a los valores de un equipo calibrado en fábrica, con base a procedimientos de calibración Internacionales. Por lo que podemos afirmar que los valores que el equipo mide están bastante apegados a los reales, sin embargo es importante apuntar que no es el objetivo del monitor proporcionar datos exactos de los parámetros medidos, para ello se necesitaría un diseño completo de equipos precisos de termometría, higrometría, luminometría y sonometría. El objetivo principal es alertar del rebase de los límites de los mismos, fijados por un estándar., situación que sí se logra a cabalidad. Sin embargo, también se proporciona una lectura muy cercana a los valores reales de medición, pues están calculados con base a los datos proporcionados por un equipo calibrado en fábrica y de calidad internacional reconocida, como lo es el equipo multiparámetros marca EXTECH, modelo EN300.

EXTECH
INSTRUMENTS

EXCELLENCE IN TECHNOLOGY Since 1971

ISO 9001 Certified Extech Instruments Corporation • 285 Bear Hill Road • Waltham, MA 02451-1064

Certificate of Calibration

Certificate Number: 5719
Document Number: 7279

Customer Details:
Customer Name: SKC INC.

Instrument Details:

Manufacturer:	EXTECH	Calibration Date:	March 21, 2009
Description:	HEAVY DUTY LIGHT METER	Calibration Due:	March 21, 2010
Model Number:	407026	Cal. Interval:	12 MONTHS
Serial Number:	Z155589	As Received:	NEW
Equip. ID Number:	N/A		

Environmental Details:
Temperature: 21 Deg. +/- 5 C Relative Humidity: 40 % +/- 15 %

Procedures Used:
Calibration Procedure: EICM407026-CP

Certification

Extech Instruments certifies that the instrument listed above meets the specifications of the manufacturer at the completion of its calibration. Standards used are traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST), or have been derived from accepted values, natural physical constants, or through the use of the ratio method of self-calibration techniques. Methods used are in accordance with ISO 10012-1 and ANSI/NCCL Z540-1-1994. This certificate is not to be reproduced other than in full, except with prior written approval of Extech Instruments Corporation. All the calibration standards used have an accuracy ratio of 4:1 or better, unless otherwise stated.

Technician Notes:

Technician: TERI KING Approved By: 

Page 1 of 3

Phone: 781.890.7440 ext 210 • Fax: 781.890.3957 • E-mail: repair@extech.com • www.extech.com

Figura 35. Ejemplo de certificado de calibración del fabricante EXTECH

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los resultados del proyecto desarrollado demuestran que utilizando la tecnología electrónica de los sistemas embebidos, en este caso la placa Arduino, se pueden diseñar equipos con aplicaciones prácticas muy útiles en ambientes tan importantes como lo es un área hospitalaria. Este hecho contribuye al desarrollo tecnológico del país, disminuyendo la necesidad de importar todos los equipos electrónicos que se utilizan, de alta y baja tecnología, demostrando que también a nivel local se pueden desarrollar.

Además el desarrollo de este módulo contribuye al aprendizaje de la utilización de los sistemas embebidos con fines específicos, lo cual es beneficioso pues anima a que se realicen otros proyectos aplicados en diferentes campos de la ciencia. De esta manera, podrían desarrollarse a futuro tecnologías biomédicas y hospitalarias, potencializando el desarrollo tecnológico de El Salvador, en este y otros campos.

Se demuestra que el desarrollo local de aplicaciones tecnológicas para ambientes clínico-hospitalarios mediante sistemas embebidos es de mucho beneficio para la población de nuestro país, ya que es posible dotar a los centros de salud de nuestra red pública con tecnologías biomédicas y hospitalarias de buena calidad y bajo costo. Los beneficios económicos en nuestra red de salud pública podrían sustentar ahorros sustanciales, pues las tecnologías hospitalarias son sumamente onerosas, pudiendo invertir lo ahorrado en otras necesidades apremiantes como medicamentos e insumos médicos.

Otro aspecto de beneficio alcanzado con el desarrollo del presente proyecto es demostrar que los equipos pueden ser desarrollados con base a las especificaciones que los usuarios proporcionan, lo que da como resultado un equipo ajustado a las necesidades específicas que el usuario requiere, evitando así realizar adaptaciones que muchas veces son necesarias con los equipos adquiridos externamente. En un futuro hasta el mismo personal técnico de los hospitales podría desarrollar este tipo de tecnología, con la capacitación, herramientas e insumos adecuados; logrando así mayores beneficios para nuestra sociedad.

5.2 Recomendaciones

El monitor de parámetros ambientales fue diseñado con los sensores más comunes que se pueden adquirir actualmente en el mercado. Sin embargo, existen sensores mucho más precisos, calibrados en fábrica (similares al DHT11) para la medición de intensidad luminosa y sonora. En el caso de querer aumentar la precisión de los valores medidos hasta valores calibrados de fábrica, por ejemplo para construir equipos de medición multipunto, podría recurrirse a la adquisición de sensores mucho más precisos; tales como el Adafruit TSL2561 o el BH1750 para lectura de iluminación directamente en Lux, y el SEN-12642 que proporciona directamente los datos en Decibeles para la intensidad sonora, lo cual volvería al módulo además de un dispositivo de alerta ante rebase de límites, en un medidor de alta precisión y máximas prestaciones.

Otra mejora muy útil para este módulo, es el hecho de colocar al módulo antenas inalámbricas que también proporciona la tecnología de Arduino, ya sea vía Bluetooth, Wi-Fi o similares, las cuales podrían transmitir los datos a la aplicación en la computadora u otros dispositivos móviles, como Tablet o Smartphones. Además, esto podría permitir poseer tablas de datos históricos al permitir en enlace con base de datos o aplicaciones vía internet.

Bibliografía y referencias

American Academy of Pediatrics, Committee on Environmental Health (1997) *Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn*. Pediatrics Vol. 100 No. 4 October 1997.

Bishop, R. (2002) *The Mechatronics Handbook*. CRC Press Boca Raton, Florida, EEUU.

Bitter, R., Mohiuddin, T., Nawrocki, M. (2006) *LabVIEW Advanced Programming Techniques*. CRC Press, EEUU.

Bowen, L. (2009) “The Effects of Light on the Neonate”. Florida Association of Neonatal Nurse Practitioners, December 2009 Vol. 20, No. 4.

British Association of Perinatal Medicine (2001) *Standards for Hospitals Providing Neonatal Intensive And High Dependency Care*. Inglaterra.

Carretero, S., Díaz, D. (2005) “Contaminación Ambiental en las U.C.I.N.” Complejo Hospitalario de Cáceres, Marzo 2005, España.

Chaudhari, S. (2011) “Neonatal Intensive Care Practices Harmful to the Developing Brain” Division of Neonatology, Department of Pediatrics, KEM Hospital, Pune 411 011, India.

Consensus Committee on Recommended Design Standards for Advanced Neonatal Care, White, R., MD, Chairman. (2012) *Recommended Standards for Newborn ICU Design*. 8th Edition, Clearwater Beach, Florida, EEUU

Ducker, T., Leaf, A., Newmarch, P. (2004) “Designing a Neonatal Unit” Report for the British Association of Perinatal Medicine.

Extech Instruments (2014) *Manual de Uso Medidor Ambiental 5 en 1, modelo EN300*. EN300-EU-SP v1.3

Flores, O., Benavides, D., Hadlow, P. (2009) “Análisis de Tecnologías e Instalaciones utilizadas para la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN) en el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom” Tesis de Trabajo de Graduación, Universidad Don Bosco.

García del Río, M., Sánchez M., Doménech, C., Izquierdo C. (2008) “Revisión de los estándares y recomendaciones para el diseño de una unidad de neonatología” Asociación Española de Pediatría.

Gutierrez, J.M. (2012) *LabVIEW + Arduino. Utilización de Labview para la Visualización y Control de la Plataforma Open Hardware Arduino*. Versión 1.0 Serie: Herramientas Gráficas para la programación de Arduino.

Hunt, K., (2011) “The NICU: Environmental Effects of the Neonatal Intensive Care Unit on Infants and Caregivers” Research Papers. Paper 71. Southern Illinois University Carbondale, EEUU.

Instituto Mexicano del Seguro Social (1993) *Normas de Proyecto de Arquitectura. Unidad de Terapia Intensiva Neonatal*. Tomo II.

Takehashi, T., Moreira E., Pizzarro, G., Guilherme, A. (2007) “Noise level in neonatal intensive care unit” Federal University of São Paulo, Brasil, *Acta Paul Enferm* 20(4):404-9.

King, R. (2009) *Introduction to Data Acquisition With Labview*. McGraw-Hill, N.Y. EEUU.

Knutson, A. (2012) “Acceptable noise levels for neonates in the neonatal intensive care unit. Independent Studies and Capstones” Paper 643. Program in Audiology and Communication Sciences, Washington University School of Medicine.

Konkani, A., Oakley, B. (2012) “Noise in hospital intensive care units—a critical review of a critical topic” Department of Industrial and Systems Engineering, Oakland University, Rochester, MI 48309-4401, EEUU

Ministerio de Salud de El Salvador (2013) *Lineamientos técnicos para la atención integral en salud del prematuro con peso menor de dos mil gramos al nacer*. San Salvador, septiembre de 2013.

Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, Gobierno de España (2014) *Unidades de Neonatología, Estándares y recomendaciones de calidad*. Informes, Estudios e Investigación.

Ministerio de Salud, Gobierno de Chile (2005) *Guías Nacionales de Neonatología*.

National Institute of Child Health and Human Development (1992) *Neonatal Intensive Care, a History of Excellence*, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, Publication No. 92-2786.

Sunrom Technologies (2012) *DHT11 - Humidity and Temperature Sensor – Datasheet*. Disponible en: www.sunrom.com/p-1141.html

Szczepański, M., Kamianowska, M. (2008) “The illumination intensity in the neonatal intensive care unit” *Archives of Perinatal Medicine* 14(2), 47-50, 2008 Medical University of Bialystok, Polonia.

Torrente, O. (2013) *ARDUINO Curso práctico de formación*. Edición RC Libros, Madrid, España.

UNICEF (2013) *State of The World's Children 2015 Country Statistical Information*, disponible en: www.unicef.org/publications/files/SOWC_2015_Summary_and_Tables.pdf

Wilson, J. (2005) *Sensor Technology Handbook*. Elsevier, EEUU.