



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



TESIS

**“Diseño e Implementación de un Sistema de
Monitoreo para evitar El Síndrome De La Muerte
Súbita Del Lactante (SMSL)”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

ELABORADO POR

Bach. Díaz Vidarte Carlos Rodrigo

Bach. Guevara Gastelo Alex Enrique

LAMBAYEQUE – PERÚ

2019

TESIS

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA
EVITAR EL SÍNDROME DE LA MUERTE SÚBITA DEL LACTANTE (SMSL)”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:

Ing. RAMÍREZ CASTRO MANUEL
PRESIDENTE

Ing. OBLITAS VERA CARLOS LEONARDO
SECRETARIO

Ing. NOMBRA LOSSIO MARTIN AUGUSTO
VOCAL

TESIS

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA
EVITAR EL SÍNDROME DE LA MUERTE SÚBITA DEL LACTANTE (SMSL)”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

ELABORADO POR:

Bach. DÍAZ VIDARTE CARLOS RODRIGO

Bach. GUEVARA GASTELO ALEX

ASESOR:

Ing. ROMERO CORTEZ OSCAR UCHELLY

AGRADECIMIENTOS

La paciencia, la dedicación y el amor recibido con la que cada día se preocupan nuestros padres por el avance y desarrollo de esta tesis, es simplemente único y se refleja en la vida de un hijo.

Gracias a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en nosotros y en nuestras expectativas, gracias a nuestras madres por estar dispuesta a acompañarnos cada larga y agotadora noche de estudio, agotadoras noches en las que su compañía y la llegada de sus cafés era para nosotros como agua en el desierto; gracias a nuestros padres por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para nuestras vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que nos han guiado durante nuestra vida.

Gracias a Dios por la vida de nuestros padres, también porque cada día bendice nuestras vidas con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que sé que más nos aman, y a las que más amamos en nuestra vida, gracias a Dios por permitirnos amar a nuestros padres, gracias a nuestros padres por permitirme conocer de Dios y de su infinito amor.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que nos han apoyado y creyeron en la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación a Dios, por habernos brindado su misericordia y habernos permitido llegar hasta aquí, y así lograr nuestros objetivos trazados; a cada uno de nuestros padres, por su gran amor y su apoyo incondicional en todas las etapas de nuestras vidas, A mis nuestros hermanos por confiar en nosotros y apoyarnos en los momentos más difíciles. A nuestros profesores por el conocimiento impartido que nos convierte en un profesional capaz de afrontar nuevos retos.

RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo diseñar e implementar un prototipo de un sistema de monitoreo para evitar el síndrome de muerte súbita del lactante (SMSL).

El primer paso para empezar con el diseño del sistema fue encontrar la base teórica necesaria para obtener información sobre el Síndrome de Muerte Súbita de Lactante (SMSL) y las alternativas y soluciones propuestas por profesionales de la salud para tratar de contrarrestarlo. Luego de la revisión bibliográfica, se decidió que el prototipo monitoreará el pulso cardíaco y el porcentaje de oxígeno en la sangre del bebé, pues según los especialistas, la alteración de estos signos vitales puede influir de manera negativa en el organismo y pueden ser los causantes del deceso del bebé por SMSL.

El siguiente paso fue seleccionar los sensores y las tarjetas controladoras para el prototipo. Se optó por elegir un pulsioxímetro, el cual mide el pulso cardíaco y el porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre a través de efectos fotoeléctricos, es decir, en un sensor no invasivo que puede ser colocado en la planta del pie del bebé o en alguna parte translúcida. En cuanto a las tarjetas controladoras, se seleccionaron las placas electrónicas Arduino Nano y Raspberry Pi 3B +. La placa Arduino Nano se utilizó para capturar la lectura de pulsómetro y conectarla a un módulo GSM, mientras que la Raspberry Pi se utilizó para la transmisión de video.

Finalmente, a través de las pruebas realizadas, se pudo comprobar que el prototipo logró grabar la actividad del bebé y monitorear su pulso cardíaco y el porcentaje de saturación de oxígeno en su sangre. Además, al presionar el pulsioxímetro para alterar las lecturas recibidas en la placa Arduino Nano, el prototipo envió mensajes de texto y realizó llamadas al celular de los padres para indicar que el bebé puede estar en peligro debido a la alteración de sus signos vitales.

Palabras clave: *síndrome de muerte súbita del lactante, pulsioxímetro, monitoreo.*

ABSTRACT

This thesis project aims to design and implement a prototype of a monitoring system to avoid sudden infant death syndrome (SIDS).

The first step to begin with the design of the system was to find the theoretical basis necessary to obtain information on Sudden Infant Death Syndrome (SIDS) and the alternatives and solutions proposed by health professionals to try to counteract it. After the literature review, it was decided that the prototype will monitor the cardiac pulse and the percentage of oxygen in the baby's blood, because according to specialists, the alteration of these vital signs can negatively influence the organism and may be the cause of the death of the baby by SMSL.

The next step was to select the sensors and controller cards for the prototype. It was chosen to choose a pulse oximeter, which measures the heart rate and the percentage of oxygen saturation in the blood through photoelectric effects, that is, in a non-invasive sensor that can be placed on the sole of the baby's foot or somewhere translucent. As for the controller cards, the Arduino Nano and Raspberry Pi 3B + electronic boards will be selected. The Arduino Nano board was used to capture the heart rate reading and connect it to a GSM module, while the Raspberry Pi was used for video transmission.

Finally, through the tests carried out, it was found that the prototype managed to record the baby's activity and monitor his heart rate and the percentage of oxygen saturation in his blood. In addition, by pressing the pulse oximeter to alter the readings received on the Arduino Nano plate, the prototype sent text messages and made calls to the parents' cell phone to indicate that he may be in danger due to the alteration of his vital signs.

Keywords: *Sudden infant death syndrome, pulse oximeter, monitoring.*

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN – CAPITULO I	1
1.1. Aspecto informativo.....	2
1.1.1. Título.....	2
1.1.2. Personal Investigador.....	2
1.1.3. Área de Investigación	2
1.1.4. Lugar de ejecución.....	2
1.1.5. Duración.....	2
1.2. Aspecto de la investigación.....	2
1.2.1. Situación problemática.....	2
1.2.2. Antecedentes	3
1.2.3. Formulación del problema científico	5
1.2.4. Objetivos	5
1.2.5. Justificación e importancia de la investigación	6
1.2.6. Hipótesis.....	6
1.2.7. Diseño y contrastación de la hipótesis	7
MARCO TEÓRICO – CAPITULO II	8
2.1. Síndrome de muerte súbita del lactante (SMSL).....	9
2.1.1. Factores de riesgo	9
2.1.2. Falta de información	14
2.2. Signos vitales.....	15
2.2.1. Saturación de oxígeno.....	16
2.2.2. Frecuencia cardiaca.....	20
2.3. Arduino	21
2.3.1. Características.....	23
2.3.2. Tipos	23
2.4. Raspberry pi	24

2.4.1. Características.....	25
2.4.2. Tipos	26
DISEÑO DEL SISTEMA – CAPITULO III.....	29
3.1. Propuesta de solución	30
3.2. Selección de componentes	31
3.3. Arquitectura del sistema.....	35
3.4. Configuración de la Raspberry Pi.....	37
3.5. Pruebas y funcionamiento del prototipo	42
COSTOS – CAPITULO IV	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES – CAPITULO V.....	51
BIBLIOGRAFÍA	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Niveles de saturación de oxígeno.	15
Figura 2: Sistema de gasometría arterial instalado.	16
Figura 3: Principio de funcionamiento de un pulsioxímetro.	18
Figura 4: Pulsioxímetro.	18
Figura 5: Logo de Arduino.	21
Figura 6: Partes de Arduino UNO R3.	21
Figura 7: Tipos de Arduino.	22
Figura 8: Logo de Raspberry Pi.	23
Figura 9: : Raspberry Pi 3 B+.	24
Figura 10: : Raspberry Pi 2.	25
Figura 11: Raspberry Pi 3	25
Figura 12: Raspberry Pi Zero.	26
Figura 13: MAX30100.	29
Figura 14: Arduino Nano.	30
Figura 15: Raspberry Pi 3 B+.	31
Figura 16: Cámara para Raspberry Pi.	32
Figura 17: Sirena de 12 VDC.	33
Figura 18: Módulo relé.	34
Figura 19: Fuente de alimentación ATX.	35
Figura 20: Arquitectura del sistema.	36
Figura 21: SO para la Raspberry Pi 3 B+.	36
Figura 22: Grabación del S.O para la Raspberry Pi 3 B+.	37
Figura 23: Colocación de la memoria Micro SD.	37
Figura 24: Arquitectura de conexión.	38
Figura 25: Direcciones IP: Raspberry Pi y PC	38
Figura 26: Ingreso a la interfaz gráfica.	38
Figura 27: Configuración de la Raspberry pi.	39
Figura 28: Configuración del sistema de la Raspberry pi.	39
Figura 29: Configuración de las interfaces de la Raspberry pi	40
Figura 30: Configuración del rendimiento de la Raspberry pi.	40
Figura 31: Configuración de localización de la Raspberry pi.	40
Figura 32: Actualización de paquetes y del S.O de la Raspberry pi.	41
Figura 33: Prueba del pulsioxímetro.	42
Figura 34: Forma de onda inicial.	43
Figura 35: Forma de onda con presencia de pulso.	43
Figura 36: Forma de onda con sin presencia de pulso.	44
Figura 37: Pruebas en la cámara.	44
Figura 38: Pruebas de la cámara a través de celular.	45
Figura 39: Pruebas de la cámara a través de laptop.	45
Figura 40: Pruebas del módulo Sim 900.	46
Figura 41: Código de prueba para el módulo Sim 900.	46
Figura 42: Llamadas y SMS enviados desde el módulo Sim 900.	46

Figura 43: Diseño de la PCB.....	47
Figura 44: Diseño final del prototipo.....	47
Figura 45: Algoritmo de control de la tarjeta Arduino Nano.....	48
Figura 46: Algoritmo para empezar el monitoreo.....	48

LISTA DE TABLAS

Tabla1: Frecuencia cardiaca en reposo para mujeres.	21
Tabla2: Frecuencia cardiaca en reposo para hombres	21
Tabla3: Costo total del proyecto.....	50
Tabla 4: Comparación de precios y características.....	50

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad diseñar e implementar un prototipo de un sistema de monitoreo para evitar el síndrome de muerte súbita del lactante, basado en Arduino, Raspberry Pi y sensores fiables y de bajo costo.

En el Capítulo I: ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN, se muestran los motivos que condujeron al desarrollo de este trabajo de tesis: la situación problemática, la justificación e importancia de la investigación, etc.

En el Capítulo II: MARCO TEÓRICO, se encuentra la base teórica necesaria para obtener información sobre el SMSL, los parámetros que se deben monitorear la evitar la muerte súbita del bebe y las características principales de la tarjetas controladoras utilizadas en el prototipo (Arduino y Raspberry Pi).

En el Capítulo III: DISEÑO DEL SISTEMA, se muestran las etapas seguidas para diseñar el prototipo, la selección de componentes, la configuración y actualización de paquetes y el SO de la Raspberry Pi, la arquitectura del sistema, la programación de las tarjetas controladoras y las pruebas de funcionamiento del prototipo.

En el Capítulo IV: COSTOS, se muestra el costo necesario para implementar el prototipo.

En el Capítulo V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, se muestran las conclusiones a las que se llegó después de concluir el prototipo; además, se muestran algunas recomendaciones para poder mejorarlo.

Finalmente, se muestra la bibliografía utilizada en el desarrollo del proyecto de tesis.

ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO I

1.1. Aspecto informativo

1.1.1. Título

Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para evitar el síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL).

1.1.2. Personal Investigador

1.1.2.1. Autor

Bach. Díaz Vidarte Carlos Rodrigo.

1.1.2.2. Autor

Bach. Guevara Gastelo Alex.

1.1.2.3. Asesor

Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo.

1.1.3. Área de Investigación

Ingeniería Electrónica – Biomédicas.

1.1.4. Lugar de ejecución

Lambayeque

1.1.5. Duración

04 meses.

1.2. Aspecto de la investigación

1.2.1. Situación problemática

Muchos bebés mueren de manera súbita e inesperada todos los años mientras duermen, con frecuencia se debe al síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL) o debido a muertes accidentales por asfixia o estrangulamiento. (Y. Moon, 2017)

Las tasas del síndrome de muerte súbita del lactante (SMSL) han bajado en forma considerable desde que los médicos comenzaron a recomendar que se acostara a los bebés de lado o boca arriba para reducir la

probabilidad del problema. Sin embargo, el SMSL aún es una causa importante de muerte de bebés menores de 1 año. (Kaneshiro, 2017)

La causa del SMSL se desconoce. En la actualidad, muchos médicos e investigadores creen que el SMSL es ocasionado por muchos factores, entre ellos: problemas con la capacidad del bebé para despertar (estimulación del sueño), el ritmo cardíaco y la incapacidad del cuerpo del bebé para detectar acumulación de dióxido de carbono en la sangre. (Kaneshiro, 2017)

El SMSL tiene más probabilidades de ocurrir entre los 2 y 4 meses de edad y afecta más a los niños que a las niñas. Además, la mayoría de las muertes por SMSL se presentan durante el invierno. (Kaneshiro, 2017)

1.2.2. Antecedentes

1) Sistema de telemedicina para monitoreo continuo de constantes vitales en lactantes menores para evitar el síndrome de muerte súbita.

- a) **Autores:** Córdova Córdova, Edgar Patricio y Ruiz Narváez, Luis Alberto.
- b) **Institución:** Universidad Técnica de Ambato (Ambato, Ecuador).
- c) **Resumen:** En el presente proyecto de titulación se describe un sistema de telemedicina para uso doméstico, diseñado para el monitoreo continuo de los signos vitales, capaz de enviar señales de alertas en caso de detectar alteraciones, con lo que previene condiciones clínicas graves o incluso la muerte. Este instrumento presenta información amplia del estado del bebé, lo que es especialmente útil para lactantes prematuros con poco peso, recientemente operados o con problemas congénitos, ya que son los pacientes con mayor riesgo de muerte súbita. El impacto de este proyecto es la contribución que se da a la comunidad en general, pues este dispositivo está dirigido principalmente al área de biomedicina, brindando una tecnología usable y adaptable,

conformada por la interfaz de visualización, alerta y configurable a las necesidades crecientes en los tiempos actuales, con el objetivo de reducir la mortalidad por Síndrome de Muerte Súbita en lactantes.

2) Monitorización de signos vitales mediante una red de dispositivos móviles.

- a) **Autores:** Cilio Atiaga, Daniel Alberto y Herrera Silva, Katherine Valeria.
- b) **Institución:** Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Pichincha, Ecuador).
- c) **Resumen:** Este proyecto de tesis presenta el diseño e implementación de una red de dispositivos móviles para la monitorización de signos vitales. El estudio del arte del proyecto, la justificación que motiva la realización del mismo, así como la descripción de las actividades a realizar y los objetivos que se buscan son parte inicial de la investigación. Se complementa con un estudio de los signos vitales a ser medidos los cuales son ECG, SpO2 y temperatura corporal, su forma de recepción de señales y funcionamiento en bebés, niños y adultos. Se realiza el estudio de las tecnologías de redes de comunicación inalámbrica y finalmente una reseña del dispositivo móvil y su sistema operativo. En el diseño del sistema, se analiza cada uno de los módulos del mismo y las características de los sensores, la plataforma electrónica, el dispositivo móvil y los circuitos necesarios para el acoplamiento de cada una de las señales de ECG, SpO2 y temperatura corporal, que son muestreadas y procesadas adecuadamente mediante la plataforma electrónica para un correcto envío vía Bluetooth y posterior visualización en el dispositivo móvil...

3) Diseño de un prototipo de pulsímetro inalámbrico para la monitorización de pacientes pediátricos.

- a) **Autor:** Llamoca Chahua, Yessenia Kioko.
- b) **Institución:** Pontificia Universidad Católica del Perú.
- c) **Resumen:** El objetivo del presente proyecto de tesis es diseñar una herramienta no invasiva: un prototipo de pulsímetro que pueda transmitir de manera inalámbrica las mediciones de frecuencia cardíaca con la finalidad de mejorar el cuidado del paciente pediátrico. De esta manera, la implementación de una transmisión inalámbrica favorece significativamente en la mejora de la calidad del cuidado de los pacientes pediátricos (la edad pediátrica comprende desde el nacimiento hasta los 14 o 18 años).

1.2.3. Formulación del problema científico

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de monitoreo para evitar el síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL)?

1.2.4. Objetivos

1.2.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo para evitar el síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL).

1.2.4.2. Objetivos específicos

- 1) Obtener información del síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL) a través de fuentes médicas confiables para poder determinar la mejor manera de contrarrestarlo.
- 2) Investigar cuáles son los principales tipos de monitores del síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL) que existen en el mercado y determinar sus ventajas y desventajas.
- 3) Determinar qué tipo de tecnología (cableada o inalámbrica) es más eficiente para implementar un sistema de monitoreo del síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL).

- 4) Seleccionar los componentes más adecuado para el diseño e implementación del sistema de monitoreo del síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL).
- 5) Implementar el prototipo y realizar las pruebas necesarias para determinar el buen funcionamiento del prototipo.

1.2.5. Justificación e importancia de la investigación

Los momentos en que un bebé está dormido son vitales para su crecimiento y desarrollo. Pero sólo porque un bebé está tomando una siesta no significa que el niño no necesite ser monitoreado. Incluso los bebés que duermen necesitan supervisión, es por eso que se inventaron los monitores de bebés.

Con el objetivo de reducir el riesgo de muerte de los bebés relacionado con el sueño (síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL) o debido a muertes accidentales por asfixia o estrangulamiento.), se han desarrollado sistemas de monitoreo que han permitido que los padres tengan una mayor tranquilidad debido a que estos equipos ayudan a oír y ver a los bebés mientras duermen (con un micrófono y una cámara).

Por estos motivos, se propone el diseño e implementación de un sistema de monitoreo para bebés de bajo costo, de calidad y con muchas funcionalidades basado en Raspberry Pi. Este sistema permitirá vigilar al bebé mediante una cámara y monitorear el pulso cardíaco del bebé mientras duerme para evitar que perezca debido al síndrome de muerte súbita de lactante (SMSL). Además, el sistema enviará mensajes de texto y realizará llamadas al celular de los padres cuando su bebé pueda estar en peligro.

1.2.6. Hipótesis

Si diseñamos e implementamos un sistema de monitoreo con la capacidad de medir los BPM y el porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre del bebé, incluyendo el envío de SMS y de realización de

llamadas para alertar a los padres, se podrá evitar el síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL).

1.2.7. Diseño y contrastación de la hipótesis

Teniendo en cuenta la información obtenida sobre el síndrome de muerte súbita del lactante (SMSL), se diseñará e implementará un sistema que pueda monitorear la concentración de dióxido de carbono en la sangre y el ritmo del pulso cardíaco de los bebés mientras duermen y que pueda generar alarmas cuando los valores leídos por los sensores sean menores o iguales a los niveles mínimos permitidos. Mediante este sistema, los padres podrán monitorear a sus bebés en todo momento y evitarán que fallezcan a causa del síndrome de muerte súbita del lactante (SMSL).

MARCO TEÓRICO

CAPITULO II

2.1. Síndrome de muerte súbita del lactante (SMSL)

El síndrome de muerte súbita del lactante (SMSL) se define como muerte repentina de un lactante menor de un año de edad, que permanece sin explicación después de una investigación minuciosa del caso, incluyendo la práctica de una autopsia completa, examen del escenario de la muerte y repaso de la historia clínica. Se incluyen los casos en que se encuentran infiltrados inflamatorios u otras anomalías en la autopsia que no expliquen la muerte. (García García, 2008)

El SMSL es la principal causa de muerte en bebés de entre un mes y un año de edad en los países desarrollados. Este síndrome generalmente se considera una enfermedad multifactorial y su aparición probablemente dependa de la coalescencia de factores de riesgo genético, del desarrollo y ambiental. (Sánchez Ruiz-Cabello & Ortiz González, 2013)

Gracias a los avances y la investigación, se ha demostrado que muchas muertes antes etiquetadas como SMSL son debidas a otras causas. Así pues, se ha producido un descenso de las muertes por SMSL a expensas de otras causas de muerte, como la asfixia accidental, la cual, sin ir más lejos, ha cuadruplicado su tasa en los últimos años. (R. Livingston, 2014)

2.1.1. Factores de riesgo

Los factores de riesgo para SMSL incluyen aquellos relacionados con la madre y el periodo prenatal y factores del infante que pueden ser extrínsecos o intrínsecos. Los factores extrínsecos son estresores físicos que promuevan la asfixia o alteraciones de la homeostasia corporal (tales como dormir en posición prona o de lado, cobijas que cubran la cabeza, superficies blandas donde se acueste al niño, colecho y temperatura ambiental elevada). Por otro lado, los factores intrínsecos se subdividen en factores del desarrollo (como prematuridad y factores genéticos, historia de SMSL en hermanos, sexo masculino) y factores asociados a la raza o grupo étnico. A continuación, se presentan los factores de riesgo más importantes, de acuerdo con la evidencia actual y la asociación establecida con el SMSL. (Latorre Castro, Fernández Deaza, & Ucrós Rodríguez,

Síndrome Infantil de Muerte Súbita: nuevos conceptos y una misma solución, 2014)

a) Factores asociadas a la madre

Se ha encontrado asociación con relación a un ambiente intrauterino no óptimo y una mayor susceptibilidad ante agentes agresores externos durante el periodo neonatal. Los estudios epidemiológicos han encontrado evidencia de que, además de factores de riesgo maternos (como consumo de cigarrillo, anemia, consumo de sustancias psicoactivas y alcohol), hay correlación entre el desarrollo de SMSL y complicaciones obstétricas como preeclampsia, retardo de crecimiento intrauterino y parto pretérmino. En un estudio retrospectivo realizado en Irlanda, se examinó la placenta correspondiente a un grupo de infantes en los que se hizo el diagnóstico de SMSL y se encontraron anomalías en las vellosidades coriónicas y los trofoblastos de dichas placentas, lo cual proporciona indicios de que los infantes con este diagnóstico, desarrollan un mayor grado de estrés hipóxico in útero, que los hace vulnerables durante la vida postnatal. (Latorre Castro, Fernández Deaza, & Ucrós Rodríguez, Síndrome Infantil de Muerte Súbita: nuevos conceptos y una misma solución, 2014)

El consumo de cigarrillo por parte de la madre es un factor de riesgo clave para el desarrollo de SMSL, tanto para el feto en desarrollo como para el neonato e infante. Se ha demostrado que hay asociación con la exposición al humo de tabaco tanto por parte de la madre como del padre. De acuerdo con la revisión sistemática realizada por Fleming y Blair, el riesgo de SMSL es dos a tres veces mayor ante la exposición in útero a humo de tabaco; de igual manera, el riesgo de exposición postnatal a tabaco en conjunto con colecho, aumenta diez veces el riesgo de desarrollar SMSL. Información publicada en reportes internacionales sugiere que dicha asociación es dosis dependiente, por lo que se recomienda un ambiente libre de humo de cigarrillo como estrategia eficaz para disminuir el riesgo de morir por SMSL. (Izquierdo Macián, Zorio Grima, & Molina Aguilar, s.f.)

b) Factores asociados al lactante propiamente dicho y al ambiente físico que lo rodea

Factores intrínsecos (Latorre Castro, Fernández Deaza, & Ucrós Rodríguez, Síndrome Infantil de Muerte Súbita: nuevos conceptos y una misma solución, 2014):

- **Edad:** aunque es una enfermedad que puede afectar a lactantes menores de un año de vida, tiene un pico de incidencia muy bien reconocido entre los dos y cuatro meses; algunos estudios reconocen que alrededor del 95% de los casos se presentan antes de los seis meses.
- **Sexo:** los lactantes de sexo masculino se encuentran particularmente en riesgo; tienen más probabilidad de ser afectados en comparación con lactantes de sexo femenino
- **Raza:** la raza es un factor de riesgo independiente para el SMSL. Investigaciones realizadas en Estados Unidos establecen un riesgo de dos a tres veces mayor para lactantes de raza negra, indios americanos y nativos de Alaska. En otros países se ha encontrado que las tasas de SMSL son de cinco a siete veces mayores especialmente en grupos indígenas.
- **Factores prenatales y perinatales:** otros factores asociados a SMSL son bajo peso al nacer, retraso del crecimiento intrauterino e incidente previo de apnea sin explicación.
- **Infección respiratoria:** hallazgos de antecedente de infección respiratoria menor en los días previos a la muerte de infantes por SMSL son frecuentes; este factor desencadenaría una cascada proinflamatoria y efectos a nivel cardiorrespiratorio y del sistema de alertamiento del infante de forma secundaria.

Factores extrínsecos (Latorre Castro, Fernández Deaza, & Ucrós Rodríguez, Síndrome Infantil de Muerte Súbita: nuevos conceptos y una misma solución, 2014):

- **Posición al dormir:** luego de obtener evidencia de que la posición prono al dormir es el factor más fuertemente asociado con el SMSL y de que se ha relacionado en más de la mitad de las muertes por SMSL en países desarrollados durante la década de los 80, se han mencionado diferentes situaciones que desencadenan la muerte del infante en esta posición. Entre las causas secundarias se encuentra la asfixia por compresión de la vía aérea o inhalación de gases exhalados, hipertermia por alteración de la pérdida normal de calor, alteración de la regulación cardiorrespiratoria y compromiso del alertamiento secundario a asfixia. Las recomendaciones hechas sobre la posición boca abajo (en prono) o de medio lado a la hora de dormir los bebés, es una posible explicación de la epidemia de SMSL que se presentó durante los años 60 a 80. Tal vez la primera evidencia que reconoció la relación entre la posición boca arriba al dormir y la prevención del SMSL fue descrita en 1985 en Hong Kong por Davies, quien encontró que en esta región del mundo tenían la costumbre de acostar a los niños boca arriba y tenían una tasa de SMSL de 0,036 x 1.000 nacidos vivos. Gilbert y cols., publicaron en 2005 una revisión sistemática de estudios observacionales y las recomendaciones sobre la posición al dormir de los lactantes desde 1940 hasta 2002. En esta revisión se expuso que, pese a la gran cantidad de información que se encuentra sobre el tema, la posición más segura (sobre la espalda o boca arriba) fue recomendada esporádicamente durante la década de los 80 pero no consistentemente hasta 1995; antes de 1988 la posición recomendada era precisamente la que más riesgo representaba para causar SMSL. La posición en prono al dormir se asocia con periodos más prolongados de sueño, lo que podría ser explicado por la disminución del control fisiológico de la respiración, función cardiovascular y mecanismos del sistema nervioso autónomo que se presentan con esta posición particular al dormir. Inicialmente las campañas para la prevención del SMSL recomendaban la posición en decúbito lateral como equivalente a la posición en supino para disminuir el riesgo. El inconveniente del decúbito lateral radica en

que esta posición genera inestabilidad en el lactante y, además, muchos de estos niños cambian su posición al decúbito prono. La recomendación habitual para la posición de los niños al dormir ha sido, por muchos años, el decúbito supino (boca arriba). Para muchas familias, e incluso para muchos médicos, no es fácil aceptar esta recomendación, especialmente por el temor a la broncoaspiración; sin embargo, los estudios realizados en los países que han adoptado el cambio en la posición de los lactantes al dormir han demostrado que tal temor es infundado, pues no se ha presentado un incremento en los casos de broncoaspiración, atoramiento o episodios de aparentemente amenaza a la vida. La evidencia sugiere que el riesgo de regurgitación es incluso mayor en los lactantes que duermen en decúbito prono en comparación con los que duermen en decúbito supino.

- **Colecho:** muchos estudios han implicado el colecho (el hecho de que el lactante duerma en la misma cama con su madre) como un factor de riesgo para SMSL. Actualmente se recomienda la práctica de co-habitación de los padres y el lactante, en camas separadas, como método para promover la lactancia materna y la vigilancia del infante, previniendo la sofocación accidental y reduciendo el riesgo de SMSL. El colecho se asocia a un mayor riesgo de sobrecalentamiento, desaturación de oxígeno, reinhalación de CO₂, cobertura de la cara y obstrucción de la vía aérea; de igual manera, el colecho en una cama no apta para un lactante, está asociado a mayor riesgo de accidentes, asfixia, sofocación, caídas y estrangulamiento. Un estudio realizado por Baddock y cols., demostró que los episodios de desaturación precedidos por episodios de apnea central de hasta 10 segundos de duración, son más comunes en lactantes durmiendo en colecho; además, se obtuvo evidencia de que estos infantes también presentan con mayor frecuencia episodios de reinhalación, precedidos por cubrimiento de la cara. El colecho es un factor de riesgo claro para SMSL y este se debe evitar como medida de sueño seguro. Sin embargo, si un infante no tiene factores intrínsecos que lo hagan

vulnerable, la respuesta homeostática es adecuada, la interacción con la madre le confiere menor riesgo de desarrollar un evento hipóxico que a los infantes vulnerables. Adicionalmente, el colecho con múltiples personas o cuando es con personas que no son los padres, aumenta el riesgo de morir por SMSL en cinco veces.

- **Sobrecalentamiento:** existe evidencia en publicaciones internacionales que permite establecer una asociación consistente entre el número de prendas que se utilizan para cubrir a los niños y/o el uso permanente de calefacción durante el sueño y el riesgo de SMSL.
- **Superficie de la cama:** es de gran importancia evitar que el lactante duerma sobre superficies blandas y, además, se deben evitar las almohadas o cualquier tipo de objeto blando cerca de la cabeza del niño.
- **Vivir a una mayor altura sobre el nivel del mar:** existen investigaciones que concluyen que las alturas elevadas en combinación con la posición al dormir aumentan el riesgo de SMSL; esto se relaciona con las bajas temperaturas, el menor contenido de oxígeno y las enfermedades respiratorias. Adicionalmente, existe relación entre el edema de las alturas, la hipoxemia persistente y las infecciones respiratorias como explicación al SMSL en alturas mayores sobre el nivel del mar.

2.1.2. Falta de información

La falta de información sobre la magnitud del SMSL ha hecho muy difícil convencer a los líderes en salud de la importancia de realizar estrategias para prevenir las muertes evitables por esta causa: a través de campañas masivas de comunicación podría evitarse el sufrimiento a muchos padres y familias. La prevención del SMSL es un reto para los profesionales de la salud y para los salubristas públicos. Por eso se considera que debe abordarse desde un modelo de determinantes que contribuya a buscar cuáles son las mejores alternativas para disminuir su impacto. (Latorre

Castro, Síndrome Infantil de Muerte Súbita: ¿Un problema de salud pública en Bogotá D.C.?, 2014)

Los determinantes biológicos y físicos son importantes, pero difícilmente modificables; por otra parte, los determinantes culturales, sociales y económicos son prevenibles, y sobre estos se deben centrar las estrategias preventivas. (Latorre Castro, Síndrome Infantil de Muerte Súbita: ¿Un problema de salud pública en Bogotá D.C.?, 2014)

Debido a la importancia de los factores de riesgo extrínsecos sobre la posibilidad de que un infante desarrolle o no un evento de muerte súbita inesperada, las recomendaciones de prevención se deben promoverse lo más temprano posible, desde el periodo prenatal. También llama la atención que los países desarrollados, con estándares de vida más altos y menos pobreza, tengan más investigación sobre este síndrome e intervengan para su disminución y países con mayor pobreza como Colombia y países vecinos no lo tengan en cuenta, incluso cuando se trata de una intervención de bajo costo y que compromete a todos los actores del sector salud y a la comunidad en general. (Latorre Castro, Síndrome Infantil de Muerte Súbita: ¿Un problema de salud pública en Bogotá D.C.?, 2014)

2.2. Signos vitales

Los signos vitales reflejan el estado fisiológico del cuerpo y las alteraciones de las funciones normales del organismo, en este sentido, se deben realizar las mediciones de manera confiable para poder determinar el estado de salud de la persona. (Marroquin, s.f.)

La importancia de la medición de los signos vitales radica en que expresan de manera inmediata los cambios funcionales que suceden en el organismo, cambios que de otra manera no podrían ser cualificados ni cuantificados. (Aguayo P. & Lagos T., s.f.)

2.2.1. Saturación de oxígeno

Uno de los mecanismos propuestos para explicar la patogenia del SMSL, mientras el niño duerme en prono, es la reinspiración del CO₂ exhalado. Cuando el lactante se encuentra con la cara apoyada sobre una superficie semipermeable al gas, el CO₂ expirado se va acumulando en el lecho y, en las inspiraciones sucesivas el aire presentará un mayor contenido en dióxido de carbono y una disminución gradual del oxígeno, hechos que de mantenerse pueden llevar al lactante a la muerte. La respuesta fisiológica normal a la reinhalación de dióxido de carbono sería la estimulación, en respuesta a la hipoxia y la hipercapnia, del aumento de la ventilación, el movimiento y el despertar. (González Pérez, Rodríguez Hernández, & Marrero García, s.f.)

La saturación del oxígeno expresa la cantidad de oxígeno que se combina, en el sentido químico, con la hemoglobina para formar la oxihemoglobina, que es quien transporta el oxígeno en la sangre hacia los tejidos. Al medir la saturación de oxígeno estamos midiendo la cantidad de oxígeno que se encuentra combinado con la hemoglobina, es por eso que esta medida es una medida relativa y no absoluta ya que no indica la cantidad de oxígeno en la sangre que llega a los tejidos, sino, la relación que hay entre la cantidad de hemoglobina presente y la cantidad hemoglobina combinada con oxígeno (oxihemoglobina). (Laborde, 2004)

El valor de saturación normal está por encima del 90%, por debajo de este valor ya no es normal, aunque los pacientes con enfermedades respiratorias crónicas toleran bien saturaciones en torno al 85% y 90%, las medidas por debajo de estos valores estarían ligados a enfermedades por lo que se debería consultar un médico. (Pérez, s.f.)

Saturación de O ₂	PaO ₂ (mmHg)
100%	677
98,4%	100
95%	80
90%	60
80%	48
73%	40
60%	30
50%	26

Figura 1: Niveles de saturación de oxígeno.

La saturación de oxígeno en la sangre del recién nacido debe estar en el siguiente rango de valores (Laborde, 2004):

- Normal: Saturación de oxígeno entre el 90 y 95%.
- Hipoxia Leve: Saturación de oxígeno entre el 85 y 89%.
- Hipoxia moderada: Saturación de oxígeno entre el 80 y 84%.
- Hipoxia severa: Saturación de oxígeno menor a 80%.
- Hiperoxia: Saturación de oxígeno mayor al 95%.

Al oxigenar de manera adecuada la sangre arterial del bebé se garantiza la eliminación de dióxido de carbono y se reduce la energía que el niño necesita invertir al respirar pudiendo usar esa energía en los demás procesos fisiológicos que debe realizar para mantenerse con vida. (Moreano Sánchez, 2015)

Existen varios métodos para medir el intercambio gaseoso que se produce a nivel pulmonar como son (Mora Alfonso, Bello Gualtero, Londoño, Valle-Oñate, & Quintana, 2011):

a) Gasometría arterial

Con este método se puede medir el oxígeno disuelto en el plasma y es considerado el estándar dorado para evaluar la oxigenación (PaO₂);

además, ayuda a evaluar también la ventilación (PaCO_2) y el estado ácido-base (pH y HCO_3). Es un método invasivo y muy utilizado.



Figura 2: Sistema de gasometría arterial instalado.

Los valores normales de los gases respirando aire ambiente a nivel del mar son:

- PaO_2 : 85-100 mmHg.
- PaCO_2 : 35-45 mmHg.
- Saturación de O_2 : 94-98%.

b) Gradiente Alveolo – Arterial de oxígeno

Mide el gradiente entre la presión parcial de oxígeno arterial (PaO_2) y la presión parcial de oxígeno alveolar (PAO_2). Cuando mayor sea el gradiente, mayor será el compromiso respiratorio del neonato. El valor normal con oxígeno al ambiente es de 5 a 15 mmHg: con oxígeno al 100% es de 20 a 65 mmHg.

c) Índice de oxigenación

Es la entre la presión arterial de oxígeno (PaO_2) y la fracción inspirada de oxígeno (FIO_2), multiplicada por 100. Este índice mide el grado de hipoxemia. Es un sistema invasivo por lo cual tiene riesgos de contaminación e infección al paciente, no muy recomendable ante otros sistemas de monitoreo.

d) Medición de oxígeno transcutáneo

Este método mide la tensión de oxígeno a través de un electrodo para gases sanguíneos aplicado a la piel como se puede ver en la figura. La técnica depende de aumentar el calor en la zona de aplicación de electrodo para mejorar la perfusión y difusión del oxígeno al sensor. Esta medición es de ayuda en caso de pacientes donde se sospeche cardiopatía congénita y se quiera hacer la prueba de hiperoxia sin necesidad de gasometría arterial. Hay que cambiar el lugar de los sensores cada 4 horas a fin de evitar quemaduras.

e) Pulsímetro o saturómetro

Es la medición no invasiva del oxígeno transportado por la hemoglobina en el interior de los vasos sanguíneos. El dispositivo emite luz con dos longitudes de onda de 660 nm (roja) y 940 nm (infrarrojo cercano) que son características respectivamente de la oxihemoglobina y la hemoglobina reducida. La mayor parte de la luz es absorbida por el tejido conectivo, piel, hueso y sangre venosa en una cantidad constante, produciéndose un pequeño incremento de esta absorción en la sangre arterial con cada latido, lo que significa que es necesaria la presencia de pulso arterial para que el aparato reconozca alguna señal. Mediante la comparación de la luz que absorbe durante la onda pulsátil con respecto a la absorción basal, se calcula el porcentaje de oxihemoglobina. Sólo se mide a la absorción neta durante una onda de pulso, lo que minimiza la influencia de tejidos, venas y capilares en el resultado.

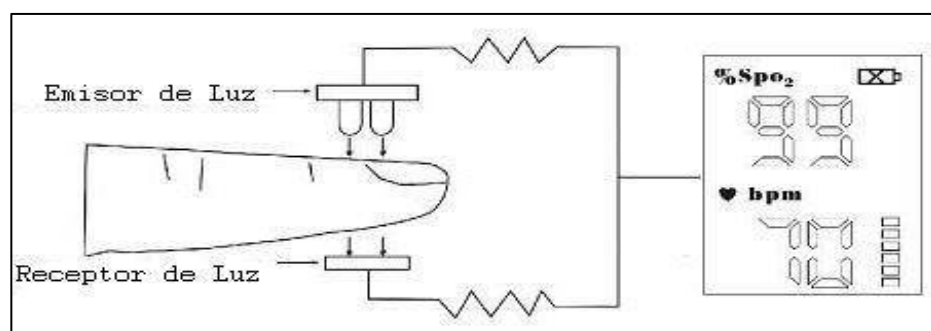


Figura 3: Principio de funcionamiento de un pulsioxímetro.

La pulsioximetría mide la saturación de oxígeno en la sangre, pero no mide la presión arterial de oxígeno (PaO_2) ni la presión arterial de dióxido de carbono (PaCO_2). Por tanto, no sustituye a la gasometría en la valoración completa de los enfermos respiratorios. Sin embargo, supera a la gasometría en rapidez y en la monitorización de estos enfermos. Los aparatos disponibles en la actualidad son muy fiables para valores entre el 80 y el 100% pero su fiabilidad disminuye por debajo de estas cifras. (Noguerol Casado & Seco González, s.f.)

Es un método eficaz de lectura y fiable para valores mayores a 80%, no es invasivo, es fácil de usar, de adquirir y de transportar. Además, informa de la frecuencia cardíaca, a pesar de sus grandes ventajas no es capaz de informar sobre el pH ni detectar la hiperoxia. (Moreano Sánchez, 2015)



Figura 4: Pulsioxímetro.

2.2.2. Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca es el número de veces que se contrae el corazón durante un minuto (latidos por minuto). Para el correcto funcionamiento del organismo es necesario que el corazón actúe bombeando la sangre hacia todos los órganos, pero además lo debe hacer una determinada presión (presión arterial) y a una determinada frecuencia. Dada la importancia de este proceso, es normal que el corazón necesite en cada latido un alto consumo de energía. (García Redondo, 2016)

Generalmente la frecuencia cardiaca normal de una persona debería oscilar entre los 50 y 100 latidos por minuto, este rango de medidas es muy amplio por lo que se deben considerar varios aspectos que nos pueden acercar a una medida más exacta dependiendo del tipo de paciente, su edad, su tipo de actividad diaria, etc.; en las tablas (1 y 2) y se muestran valores referenciales de frecuencia cardiaca. (Pérez Amigo, 2017)

Tabla 1: Frecuencia cardiaca en reposo para mujeres.

Edad	Mala	Normal	Buena	Muy buena
20 – 29	98 o más	78 – 94	72 – 76	70 o menos
30 – 39	98 o más	80 – 96	72 – 78	70 o menos
40 – 49	100 o más	80 – 98	74 – 78	72 o menos
50 – 59	104 o más	84 – 102	76 – 82	74 o menos
60 o más	108 o más	88 – 106	78 – 88	78 o menos

Tabla 2: Frecuencia cardiaca en reposo para hombres.

Edad	Mala	Normal	Buena	Muy buena
20 – 29	86 o más	70 – 84	62 – 68	60 o menos
30 – 39	86 o más	72 – 84	64 – 70	62 o menos
40 – 49	90 o más	74 – 88	66 – 72	64 o menos
50 – 59	90 o más	74 – 88	68 – 74	66 o menos
60 o más	94 o más	76 – 90	70 – 76	68 o menos

2.3. Arduino

Arduino es una tarjeta electrónica digital y además es un lenguaje de programación basado en C++ que es “open-source”. En español se traduce como de “uso-libre”. Su Hardware está construido por un microcontrolador de la familia AVR y es una de las tarjetas electrónicas más usadas para crear prototipos. Las instrucciones del lenguaje Arduino son muy fáciles de aprender y usar, incluso para personas con poco conocimiento de electrónica y/o programación. Es una herramienta muy utilizada por estudiantes y profesionales de sistemas embebidos. Dentro de las tarjetas Arduino más conocidas se encuentra el Arduino UNO R3. (Estrada, 2017)

Arduino es entonces una herramienta de procesamiento digital parecido a una computadora. Como tal, tiene elementos de entrada o salida digital a los cuales se les puede conectar: botones, pantallas LCD, teclados, teclados matriciales o sensores digitales. Además de las entradas y salidas digitales, una tarjeta Arduino tiene entradas analógicas que nos permiten medir las señales de sensores analógicos. Para poder visualizar la información, se cuenta con un puerto de comunicación Serial-USB, que mediante un puerto USB de una computadora, nos permite enviar y recibir mensajes digitales mediante una USART o también llamada UART. (Campos, 2018)

Arduino se puede aplicar a prácticamente cualquier proceso que quiera ser automatizado. Desde controlar un invernadero, prender el foco de tu casa automáticamente por WiFi o incluso leer la computadora de tu vehículo. Se puede usar para aplicaciones caseras o incluso en ambientes industriales. La función de Arduino es la de automatizar procesos digitales. Esto es, el uso del procesador que tiene Arduino para la creación de aplicaciones que resuelvan problemas. Se pueden crear proyectos de domótica, leer tags de credenciales, etc. (Muñoz, 2018)

La principal función de un Arduino es poder crear un prototipo electrónico de manera rápida con el propósito de validar alguna propuesta. Su diseño permite poder aprender el lenguaje de forma muy rápida incluso para personas ajenas a la electrónica y/o programación. Si bien el código Arduino no genera un programa muy optimizado, la rapidez del desarrollo para un prototipo supera a esta desventaja. (Montero Arias, 2018)

Las principales ventajas de Arduino son: su costo, facilidad de aprender la herramienta, un software de desarrollo sencillo, no necesita un programador externo a la tarjeta y es un desarrollo de Hardware-libre lo cual permite crear proyectos que se pueden comercializar. (Estrada, 2017)

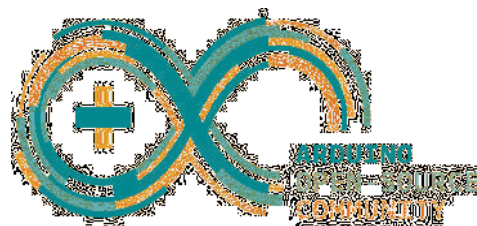


Figura 5: Logo de Arduino.

2.3.1. Características

Las principales características de un Arduino son (Estrada, 2017):

- Velocidad en MHz.
- Tamaño de memoria RAM, FLASH y EEPROM.
- Cantidad de pines de entrada/salida.
- Numero de pines analógicos.
- Cuantos puertos UART, I2C, SPI tiene.
- Tamaño de la tarjeta de evaluación.
- Bits del procesador.
- Voltaje del procesador.

Por ejemplo, el Arduino UNO funciona a 16 MHz, tiene 14 pines de E / S digitales y 6 canales de entrada para señales analógicas (ADC). También tiene un puerto UART, un puerto I2C, un puerto SPI y su procesador es un ATmega328P de 8 bits. La memoria FLASH es de 32KB, una RAM de 2KB y de EEPROM tiene 1KB. (Estrada, 2017)

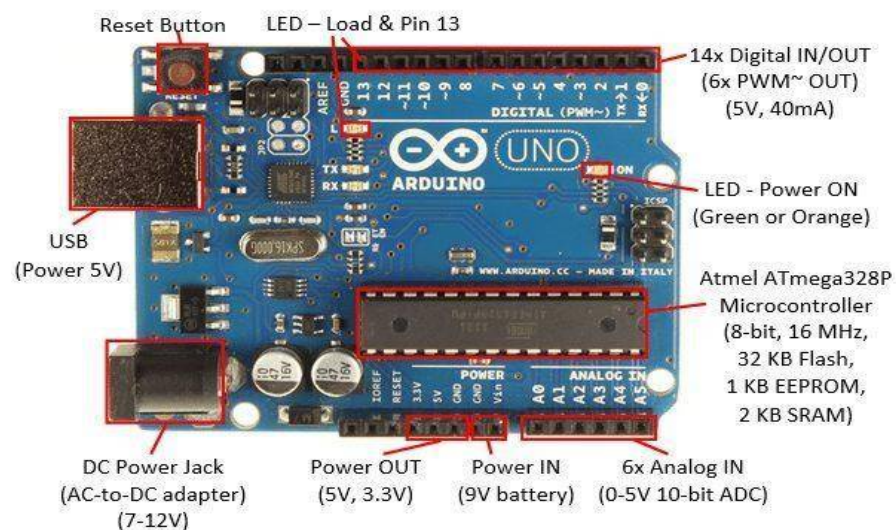


Figura 6: Partes de Arduino UNO R3.

2.3.2. Tipos

Existen muchos y muy distintos tipos de Arduino. Primero podríamos comenzar a diferenciarlos por su origen, es decir, existen Arduinos originales y Arduinos genéricos. La diferencia entre un Arduino original y uno genérico es el lugar de su ensamble y la empresa que lo realiza.

También podemos distinguir distintos tipos de Arduino de acuerdo al procesador y cantidad de pines que tienen sus tarjetas. A continuación se muestran una comparativa entre los 4 principales Arduinos originales (Arapa Cruz, Morocco Hanco, & Vilca Pacco, 2018):

Tipo de Arduino	Procesador	# I/O	# entradas ADC	FLASH/RAM KB	Mhz	Voltaje (VDC)
Arduino UNO R3	ATmega328p	14	6	32 / 2	16	5
Arduino MEGA R3	ATmega2560	54	16	256 / 8	16	5
Arduino NANO	ATmega328p	14	6	32 / 2	16	5/3.3
Arduino Leonardo	ATmega32u4	14	6	28 / 2.5	16	5
Arduino DUE	AT91SAM3X8E	54	12	512 / 96	84	3.3

Figura 7: Tipos de Arduino.

2.4. Raspberry pi

Raspberry Pi fue desarrollado en Reino Unido por la fundación Raspberry Pi, formada en 2008, por un grupo de técnicos y académicos como Eben Upton, Rob Mulins, Jack Lang, Alan Mycroft, Pete Lomas, y David Braben. Sin embargo, el proyecto Raspberry Pi empezó en 2006, y estaba inspirado en el BBC Micro, un ordenador que permitió popularizar la informática en 1981. Este ordenador tuvo dos modelos A y B y, por este motivo, la primera versión de Raspberry Pi tuvo también dos variantes A y B. Según sus creadores, el objetivo era crear un dispositivo de bajo coste que permitiera acercar a todos los públicos un ordenador con el que mejorar las habilidades en informática, programación y electrónica. (Llamas, 2017)

Generalmente este tipo de mini ordenadores ejecutan sistemas operativos basados en Linux y están íntimamente relacionados con el Open Software. No obstante, el desarrollo en sí de Raspberry Pi no es Open Hardware. (I-Tech, 2018)

Además de un ordenador, Raspberry incorpora funciones de electrónica como pines GPIO (General Purpose Input/Output), y de comunicación como UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), y SPI (Serial Peripheral Interface), I²C (Inter-Integrated Circuit). (Llamas, 2017)

Estas funciones hacen que pueda ser empleado en proyectos de electrónica y robótica interactuando con sensores (temperatura, luz, aceleración, etc.) y actuadores (motores, servos, relés, etc.). En este sentido, se puede decir que comparte ciertas capacidades con dispositivos como Arduino. (Llamas, 2017)

No obstante, que la potencia de estos mini PC's no es equiparable a la de un ordenador convencional. Aunque los últimos modelos incorporan procesadores muy superiores a las primeras versiones, la potencia de cálculo, es más equiparable a la de un Smartphone moderno. (I-Tech, 2018)

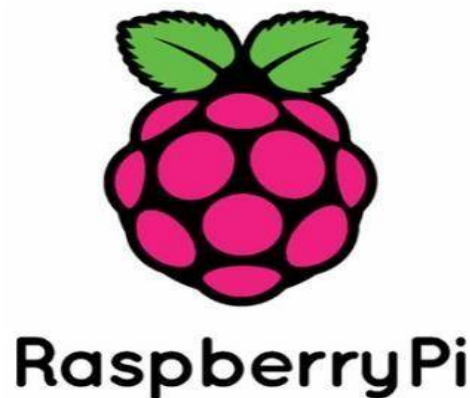


Figura 8: Logo de Raspberry Pi.

2.4.1. Características

A continuación, se detallan todas las especificaciones del dispositivo Raspberry Pi 3 Modelo B (Cruceira, 2017):

- Microprocesador: Chipset Broadcom BCM2387, 1,2 GHz de cuatro núcleos ARM Cortex-A53.
- Unidad de procesamiento gráfico (GPU: Graphics Processor Unit): Dual Core VideoCore IV Multimedia Co-procesador: Proporciona Open GL ES 2.0, OpenVG acelerado por hardware, y 1080p30 H.264 de alto perfil de decodificación. Capaz de 1 Gpixel / s, 1.5 Gtexel / s o 24 GFLOPs con el filtrado de texturas y la infraestructura DMA.
- RAM: 1GB LPDDR2.
- Conectividad:
 - Ethernet socket Ethernet 10/100 BaseT.

- 802.11 b / g / n LAN inalámbrica y Bluetooth 4.1 (Classic Bluetooth y LE).
- Salida de vídeo: HDMI rev 1.3 y 1.4 y RCA compuesto (PAL y NTSC).
- Salida de audio: Jack de 3,5 mm de salida de audio, HDMI y USB 4 x Conector USB 2.0.
- Conector GPIO (General Purpose Input/Output) para entradas y salidas digitales: 40-clavijas de 2,54 mm (100 milésimas de pulgada) de expansión, proporciona 27 pines GPIO, así como 3,3 V, +5 V y GND líneas de suministro.
- Conector de cámara de 15 pines cámara MIPI interfaz en serie (CSI-2).
- Pantalla de visualización Conector de la interfaz de serie (DSI) Conector de 15 vías plana flex cable con dos carriles de datos y un carril de reloj.
- Ranura de tarjeta de memoria empuje / tire Micro SDIO.



Figura 9: Raspberry Pi 3 B+.

2.4.2. Tipos

En el mercado se pueden encontrar varias versiones de la Raspberry Pi. La elección entre una u otra depende de las necesidades y del stock que tenga el proveedor. A continuación, se mencionan las características principales de los modelos de Raspberry Pi que existen en el mercado (Cruceira, 2017):

a) Raspberry Pi 2

Lleva un procesador ARM Cortex-A7 de cuatro núcleos con una frecuencia de 900 MHz. Tiene 1 GB de memoria RAM y las siguientes conexiones:

- 4 puertos USB.
- 40 pines de entrada / salida.
- Salida HDMI.
- Puerto Ethernet.
- Salida de audio Jack de 3,5 mm.
- Interfaz de cámara (CSI) y pantalla (DSI).
- Slot para tarjeta Micro SD.
- Core gráfico VideoCore IV 3D.

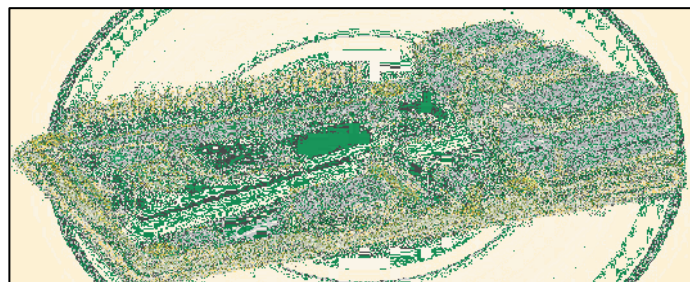


Figura 10: Raspberry Pi 2.

b) Raspberry Pi 3

Comparte las conexiones de la Raspberry Pi 2 e incluye algunas novedades bastante interesantes. El procesador pasa a ser un ARM v8 (64 bits) de cuatro núcleos que trabaja a 1,2 GHz. Tiene integrada de serie la conexión WiFi y Bluetooth 4.1 con BLE. Se lanzó al mercado en febrero de 2016.

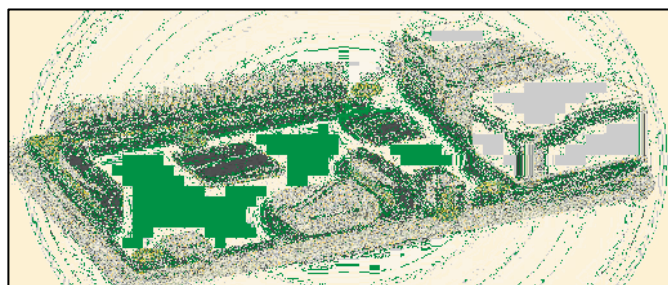


Figura 11: Raspberry Pi 3.

c) Raspberry Pi Zero

Sus prestaciones son más discretas. Lleva un procesador de un único núcleo que trabaja a 1 GHz. La memoria RAM es la mitad que en los modelos anteriores. Incluye salidas HDMI y USB OTG. La Raspberry Pi Zero cuesta en torno a 5€. Su mercado potencial está más enfocado a proyectos de electrónica. Es sencillo conectarla a un sistema de sensores y mandar la información por Bluetooth o WiFi a otro dispositivo.

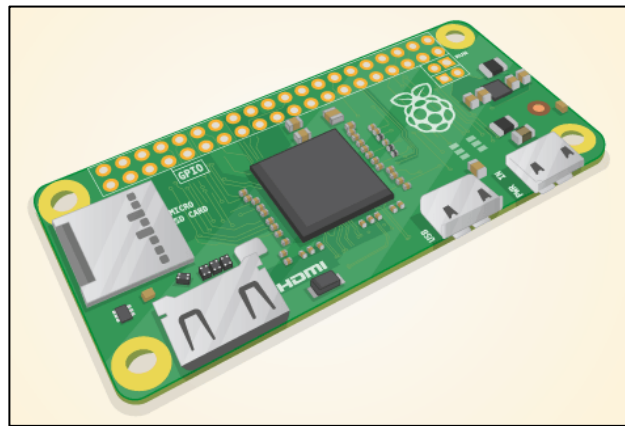


Figura 12: Raspberry Pi Zero.

DISEÑO DEL SISTEMA

CAPITULO III

3.1. Propuesta de solución

Para poder diseñar correctamente el prototipo, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- 1) El pulso cardiaco en bebés y niños debe mantenerse dentro del rango de los siguientes valores (García Redondo, 2016):
 - Recién nacidos de 0 a 1 mes de edad: 70 a 190 latidos por minuto.
 - Bebés de 1 a 11 meses de edad: 80 a 160 latidos por minuto.
 - Niños de 1 a 2 años de edad: 80 a 130 latidos por minuto.
 - Niños de 3 a 4 años de edad: 80 a 120 latidos por minuto.
 - Niños de 5 a 6 años de edad: 75 a 115 latidos por minuto.
- 2) La pulsioximetría es un método no invasivo que permite determinar el número pulsos cardiacos de un paciente con ayuda de métodos fotoeléctricos. Para realizar esta técnica, se coloca el pulsioxímetro en una parte del cuerpo que sea relativamente translúcida y tenga un buen flujo sanguíneo, por ejemplo los dedos de la mano o del pie o el lóbulo de la oreja. El pulsioxímetro emite luces con longitudes de onda roja e infrarroja que pasan secuencialmente desde un emisor hasta un fotodetector a través del paciente. Se mide la absorbancia de cada longitud de onda causada por la sangre arterial (componente pulsátil), excluyendo sangre venosa, piel, huesos, músculo, grasa.

Teniendo en cuenta los criterios anteriores, se diseñará un sistema de monitoreo para bebés que permite vigilarlos mientras duermen y que pueda obtener lecturas del ritmo cardiaco del recién nacido. Adicionalmente, el sistema de monitoreo tendrá la capacidad de grabar la actividad del bebé para que los padres pueda observar en tiempo real y de forma remota la posición en la que se encuentra el niño mientras está durmiendo. Si por alguna razón los padres no están observando la pantalla del monitor o celular y la lectura obtenida por el sensor está fuera de los rangos permitidos, el sistema de monitoreo se encargará de enviar un mensaje de texto y realizar una llamada a través de la red celular para avisar a los padres que el niño puede estar en peligro. El sistema de monitoreo estará formado por sensores no invasivos y por tarjetas controladoras que permitirán realizar

lecturas correctas y grabar la actividad del bebe mientras duerme. Este sistema de monitoreo será fiable y de bajo costo, pues actualmente los sensores y tarjetas electrónicas ofrecen muchas funcionalidades a un bajo precio.

3.2. Selección de componentes

a) Pulsioxímetro

Este dispositivo está formado por dos leds: un led rojo (660 nm) y un led infrarrojo (920 nm), un fotodetector, óptica especializada, filtro de luz ambiental entre 50 y 60 Hz, y un conversor ADC delta sigma de 16 bits y de hasta 1000 muestras por segundo. Además posee un sensor de temperatura interno para compensar los efectos de la temperatura en la medición.

El MAX30100 necesita de dos voltaje distintos para funcionar: 1,8 y 3,3 VDC, por lo que este módulo incluye ambos reguladores de voltaje en placa, de este modo solo se necesita una fuente de 5 VDC para la alimentación. Su consumo de corriente es mínimo, por lo que es ideal para aplicaciones portátiles y de bajo consumo. Puede ser utilizado en equipos de monitoreo médico, asistentes de estado físico y wearables (aparatos y dispositivos electrónicos que se incorporan en alguna parte del cuerpo).



Figura 13: MAX30100.

b) Tarjeta Arduino

Arduino Nano es una pequeña tarjeta basada en el microcontrolador de ATMEL ATmega328. Posee las mismas funcionalidades que un Arduino UNO, solo que en un tamaño reducido. Para programarla solo se necesita de un cable Mini USB.

Características:

- Microcontrolador: ATmega328.
- Voltaje de operación: 5 VDC.

- Voltaje de alimentación (Recomendado): 7-12 VDC.
- I/O Digitales: 14 (6 son PWM).
- Memoria Flash: 32KB
- EEPROM: 1 KB.
- Frecuencia de trabajo: 16 MHz.
- Dimensiones: 0.73" x 1.70".



Figura 14: Arduino Nano.

c) Tarjeta Raspberry Pi

En marzo de 2018 la Raspberry Pi Foundation lanzó al mercado la Raspberry Pi 3 Model B+. Este nuevo micro-ordenador mantiene el mismo tamaño y la misma posición de los elementos que el modelo Pi 3, pero ha cambiado el procesador por otro más potente que funciona a 1,4 GHz. Además, incluye conectividad Bluetooth 4.2, BLE, Wi-Fi a doble banda (2,4 GHz y 5 GHz) y la tarjeta de red Gigabit Ethernet ya no está limitada a los 100 Mbps, sino que es capaz de alcanzar los 300 Mbps al funcionar sobre USB 2.0.

Todas las especificaciones técnicas de este nuevo modelo de Raspberry Pi 3 son:

- CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4 GHz.
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM.
- Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE.
- Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps).
- GPIO de 40 pines.
- Conector HDMI.
- 4 puertos USB 2.0.
- Puerto CSI para conectar una cámara.

- Puerto DSI para conectar una pantalla táctil.
- Salida de audio estéreo y vídeo compuesto.
- Micro-SD.
- Power-over-Ethernet (PoE).



Figura 15: Raspberry Pi 3 B+.

d) Cámara

Para este proyecto se utilizará una Web Cam. Sin embargo, esta podrá ser reemplazada por otra cámara con mejores características técnicas.

Características:

- 03 Leds: para una imagen más nítida y clara.
- Resolución VGA: imágenes de gran nitidez e intensidad.
- Micrófono Integrado: Disfrute de sus conversaciones sin micrófono.
- Seguimiento facial inteligente: Centra la atención del rostro.
- Fácil instalación: No necesita instalar controladores, se reconoce de forma automática.
- Sistema operativo: Compatible con todos los SO Windows.



Figura 16: Cámara Web.

e) SIM 900

Módulo de sistema mínimo SIM900 con todos los componentes básicos para hacer funcionar el módulo GSM/GPRS SIM900 de la marca SIMCOM. Es ideal para evaluar el funcionamiento de dicho modulo e incluirlo en prototipos o sistemas finalizados con el cableado adecuado. Se comunica con el microcontrolador a través de una interfaz serial y comandos AT. El módulo soporta reset y encendido mediante hardware. Los módulos Simcom también se utilizan en shields para Arduino, por lo que se puede utilizar este módulo también con Arduino o cualquier microcontrolador o computadora como Raspberry Pi o PC de escritorio.

Características:

- Módulo cuatribanda GSM de 850 / 900 / 1800 / 1900 MHz.
- GPRS multi slot clase 10/8 estación móvil clase B.
- Potencia de transmisión 2W @ 850 / 900 MHz.
- Control mediante comandos AT.
- Bajo consumo de corriente: 15 mA en modo sleep.
- Temperatura de operación -40 °C a 85 °C.
- Comandos AT para operaciones con sockets TCP/IP.
- Incluye protocolos de capa de aplicación implementados mediante comandos AT.



Figura 17: SIM 900.

f) Fuente de alimentación

La fuente de alimentación se encarga básicamente de transformar la corriente alterna de la línea eléctrica en corriente directa, así como reducir su voltaje. Esta corriente es utilizada por los elementos electrónicos y eléctricos del circuito. Otras funciones son las de suministrar la cantidad de corriente y voltaje que los dispositivos requieren así como protegerlos de problemas en el suministro eléctrico como subidas de voltaje.

Características:

- Entrada: 100 V ~ 240 V 50/60 Hz, CA.
- Salida: 5 V 3 A, CC.
- Con el botón del interruptor (pulse para abrir, pulse de nuevo para detener).
- Uso para: Raspberry Pi 3 Modelo B, modelo B +/-Raspberry Pi 3 Modelo B, Arduino y Shields.
- Puerto de carga: Micro USB.
- Longitud del Cable: 1 metro aprox.



Figura 19: Fuente de alimentación ATX.

3.3. Arquitectura del sistema

El pulsioxímetro estará conectado cualquier dedo del bebe para poder sensor el pulso cardiaco mientras está durmiendo. El encargado de procesar la información proveniente del sensor será el Arduino Nano, el cual hará uso de su Conversor Análogo – Digital (ADC) para codificar la información y posteriormente

mostrarla en un formato legible para las personas. Además, si el valor leído está fuera de los rangos permisibles, el Arduino Nano activará una alarma a través de la red celular para avisar a los padres que el niño puede estar en peligro.

La cámara estará conectada en un puerto USB de la Raspberry Pi y transmitirá en tiempo real para que los padres puedan observar en cada momento la actividad del bebé. La Raspberry Pi estará conectada a un router a través de su puerto Ethernet, mientras que la PC, Laptop o Smart TV de la habitación de los padres podrá estar conectada mediante Wi-Fi para formar una red LAN. De esta manera, los padres supervisarán la actividad del bebe y y el pulso cardiaco para evitar el SMSL.

En la Raspberry Pi y en el Arduino Nano se implementarán los algoritmos necesarios para realizar la grabación y la lectura del sensor MAX30100, así como el envío de SMS y la llamada al celular. Esta alarma será de utilidad cuando los padres, por alguna razón, se distraigan y no estén atentos a la transmisión.



Figura 20: Arquitectura del sistema.

En la Figura 20 se observa la conexión entre los dispositivos. Las flechas amarillas hacen referencia a una conexión con cable de red UTP Cat 6A, el cual no debe sobrepasar los 100 m para evitar atenuaciones; sin embargo, el monitor

o cualquier otro dispositivo que se utilice para observar la actividad del bebe mientras duerme, podrá conectarse de forma inalámbrica a la LAN. La flecha roja indica que la cámara está conectada a la Raspberry Pi a través su puerto USB. La flecha verde indica la conexión del sensor hacia el Arduino Nano mediante cable de cobre 23 AWG. La flecha azul indica una conexión serial entre el Arduino Nano y el módulo Sim 900.

3.4. Configuración de la Raspberry Pi

A continuación, se muestran los pasos que se deben seguir para configurar la Raspberry Pi 3 B+:

- 1) Instalar el Sistema Operativo: Raspbian es el sistema operativo oficial de la Fundación Raspberry. El S.O se puede descargar gratuitamente desde la página oficial: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>.

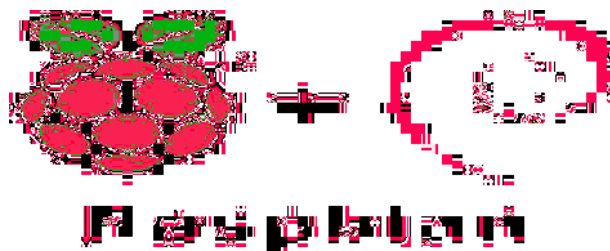


Figura 21: SO para la Raspberry Pi 3 B+.

- 2) Descargar el software Win32DiskImager para grabar la imagen binaria del S.O en una memoria micro SD. Este software se puede descargar desde: <https://sourceforge.net/projects/win32diskimager/>. Una vez extraída la imagen binaria del S.O, esta debe ser grabada en la tarjeta micro SD. Para esto, se ejecuta el programa Win32DiskImager.

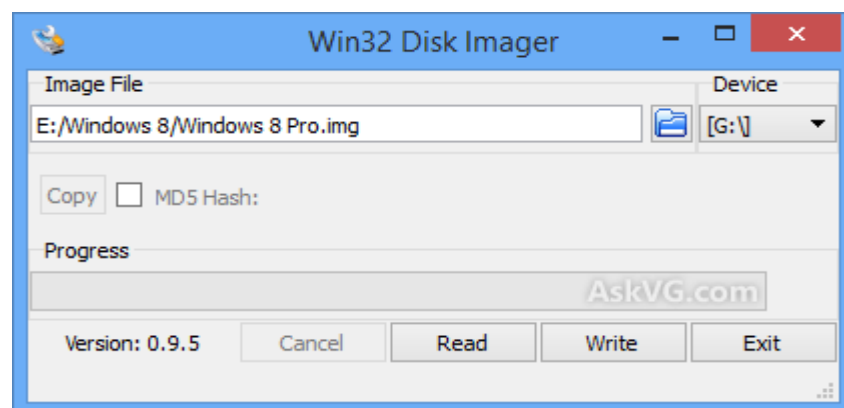


Figura 22: Grabación del S.O para la Raspberry Pi 3 B+.

- 3) Luego de grabar el S.O en la memoria micro SD, ésta debe ser colocada en la Raspberry Pi.



Figura 23: Colocación de la memoria Micro SD.

- 4) Después de arrancar la Raspberry Pi, se debe acceder remotamente a la interfaz gráfica mediante el software VNC Viewer para actualizar los paquetes y el S.O de la placa. Para lograr esto, se deben conectar la Raspberry Pi y la PC a un router con salida a internet. Además, para identificar las direcciones IP asignadas a los dispositivos se utilizará el software Advanced IP Scanner, el cual está disponible en: <http://www.advanced-ip-scanner.com/es/>.

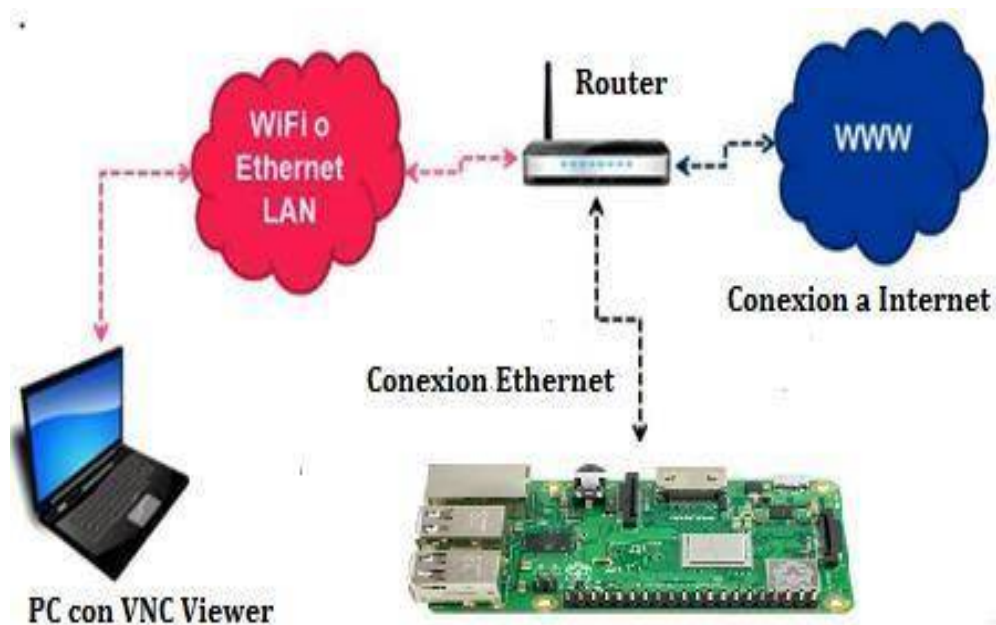


Figura 24: Arquitectura de conexión.

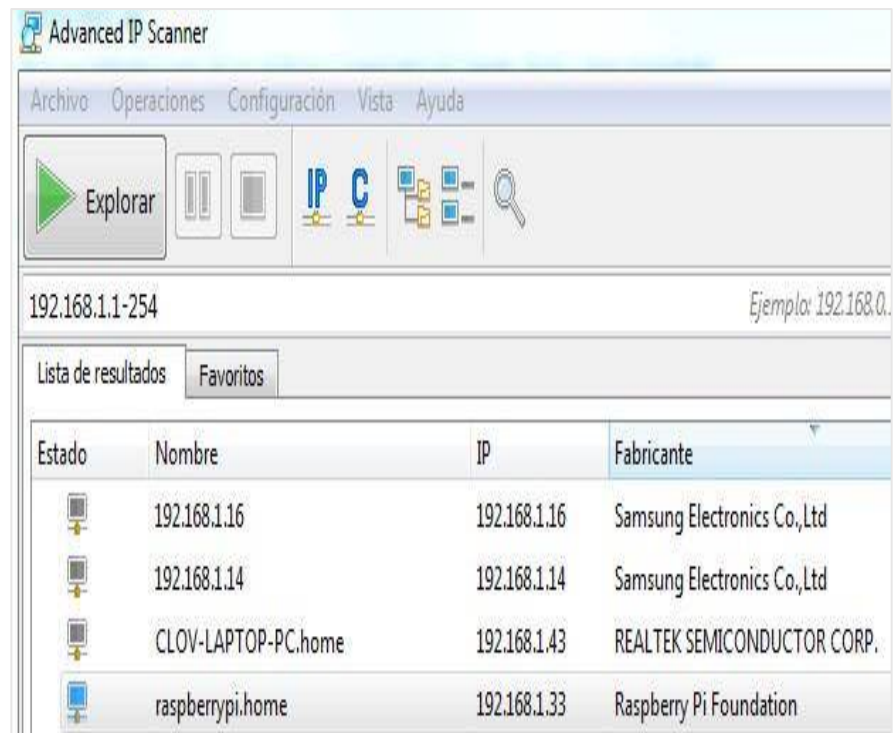


Figura 25: Direcciones IP: Raspberry Pi y PC.

- 5) Luego se debe ejecutar el software VNC Viewer para poder ingresar a la interfaz gráfica de la Raspberry pi.

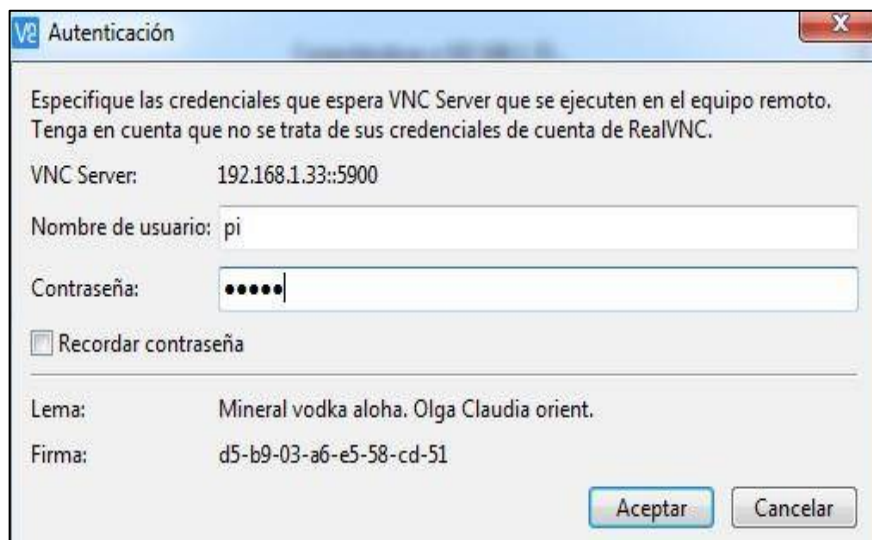


Figura 26: Ingreso a la interfaz gráfica.

- 6) El siguiente paso es configurar las opciones de: Sistema, Interfaces, Rendimiento y Localización de la Raspberry pi.

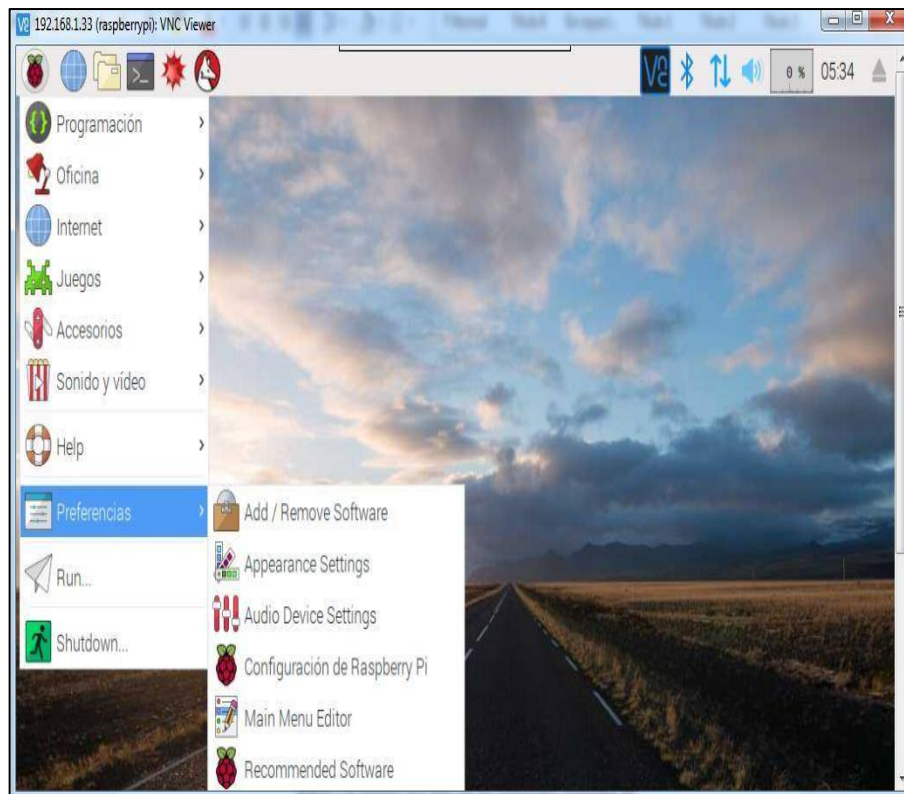


Figura 27: Configuración de la Raspberry pi.

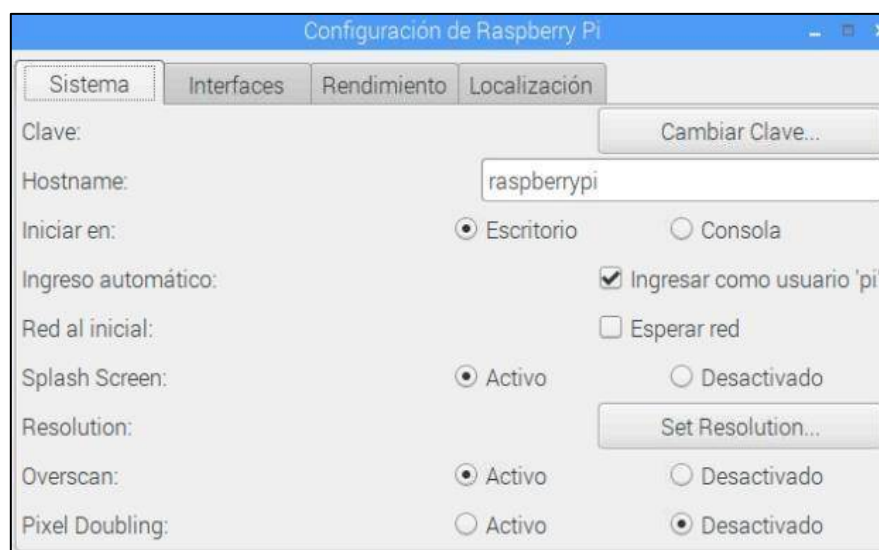


Figura 28: Configuración del sistema de la Raspberry pi.

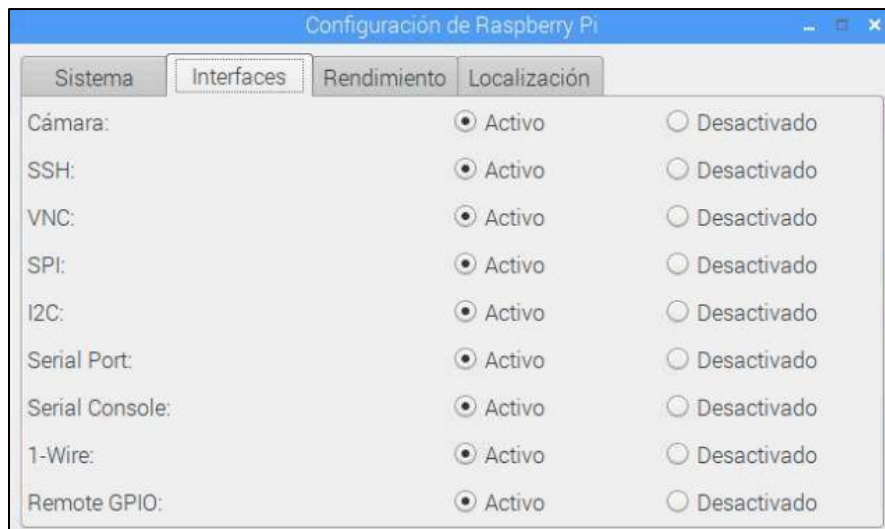


Figura 29: Configuración de las interfaces de la Raspberry pi.

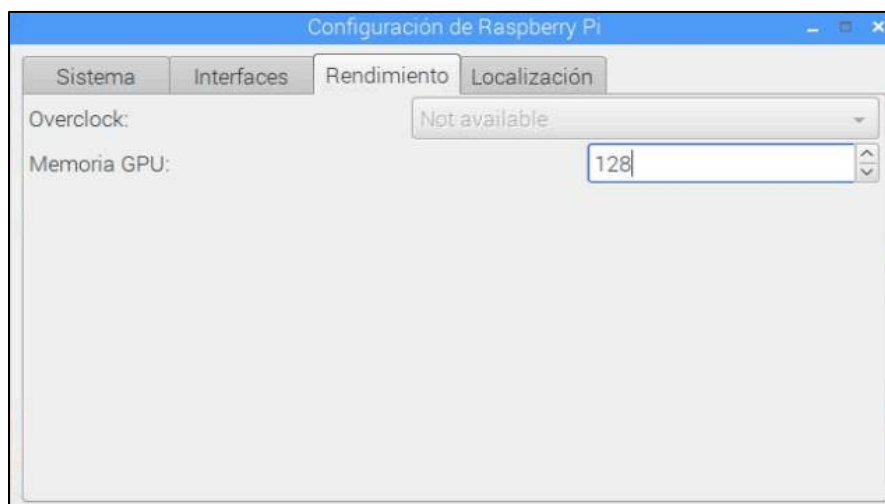


Figura 30: Configuración del rendimiento de la Raspberry pi.

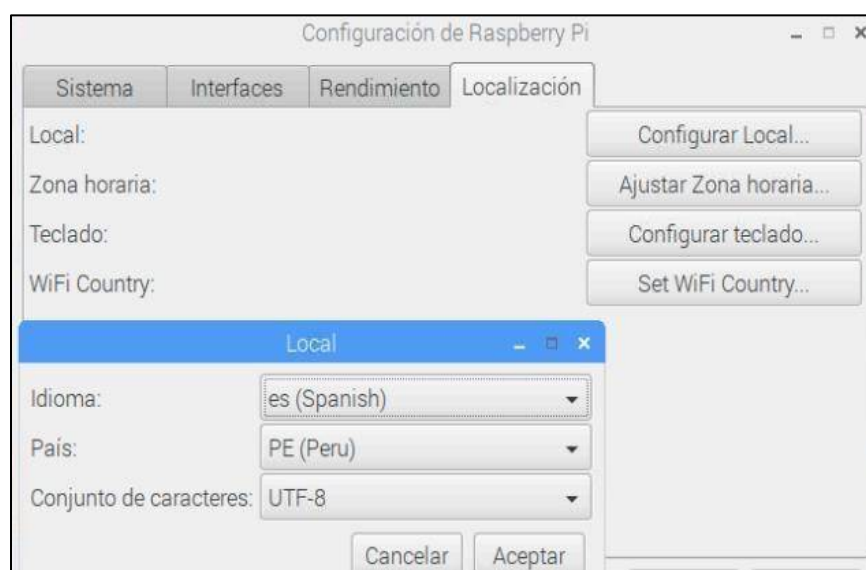
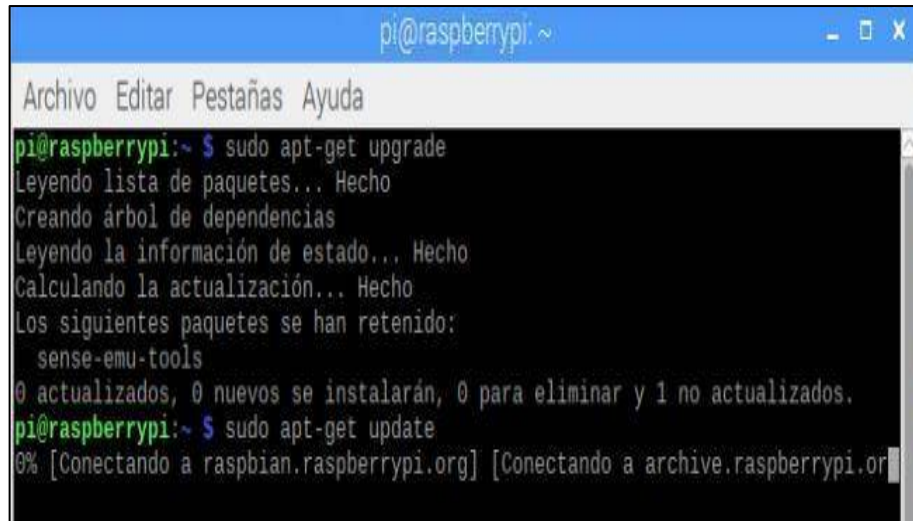


Figura 31: Configuración de localización de la Raspberry pi.

- 7) Finalmente se deben actualizar la lista de paquetes y el SO de la Raspberry Pi escribiendo los comandos “sudo apt-get update” y “sudo apt-get upgrade” en la ventana de comandos. Para esto, hay que tener la conexión a internet habilitada.



```
pi@raspberrypi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get upgrade  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
Creando árbol de dependencias  
Leyendo la información de estado... Hecho  
Calculando la actualización... Hecho  
Los siguientes paquetes se han retenido:  
  sense-emu-tools  
0 actualizados, 0 nuevos se instalarán, 0 para eliminar y 1 no actualizados.  
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get update  
0% [Conectando a raspbian.raspberrypi.org] [Conectando a archive.raspberrypi.org]
```

Figura 32: Actualización de paquetes y del SO de la Raspberry pi.

3.5. Pruebas y funcionamiento

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas en el prototipo. Primero, se mostrarán los resultados de las pruebas realizadas con el pulsioxímetro; luego se precede a realizar pruebas en la cámara con el fin de determinar la latencia; finalmente se prueba el modulo Sim 900 para comprobar que se realizan las llamadas y el envío de mensajes de texto.

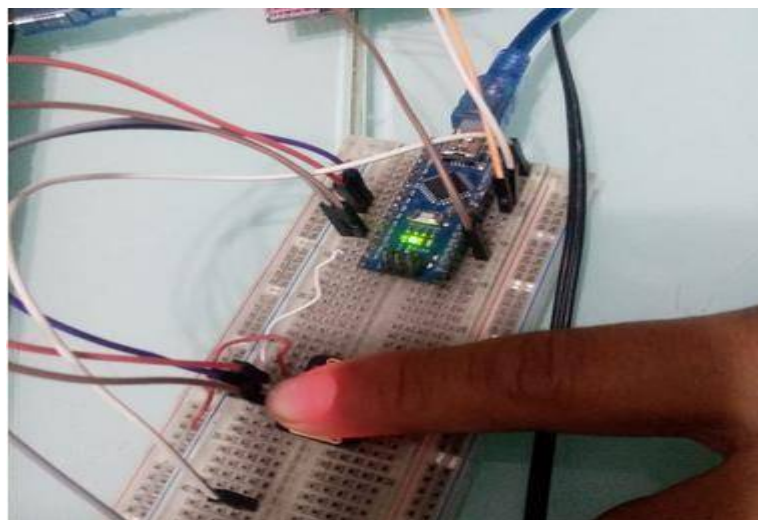


Figura 33: Prueba del pulsioxímetro.

En la Figura 34 se observa la forma de la señal resultante cuando en el sensor no se ha colocado el dedo para realizar las medidas de pulso.

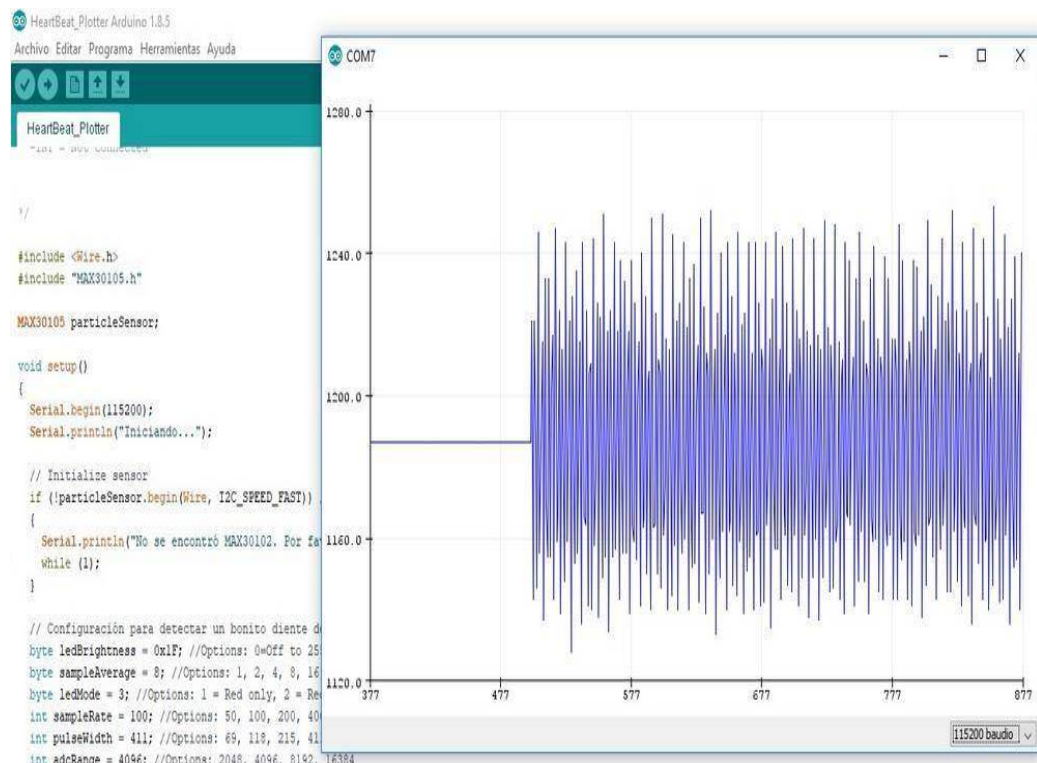


Figura 34: Forma de onda inicial.

En la Figura 35 se observa la forma de la señal resultante cuando en el sensor se ha colocado el dedo para realizar las medidas de pulso.

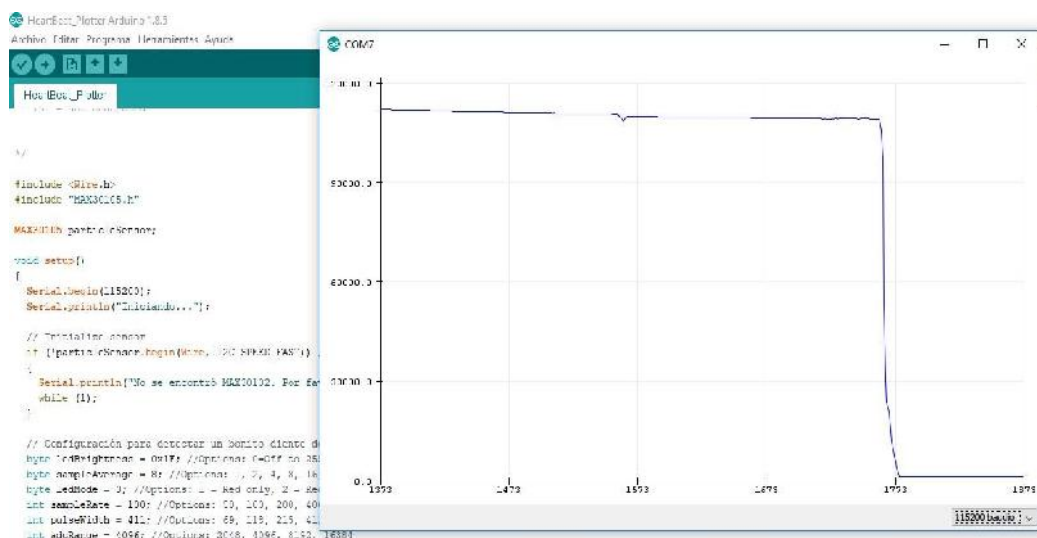


Figura 35: Forma de onda con presencia de pulso.

En la Figura 36 se observa la forma de la señal resultante cuando se ha retirado el dedo del sensor.

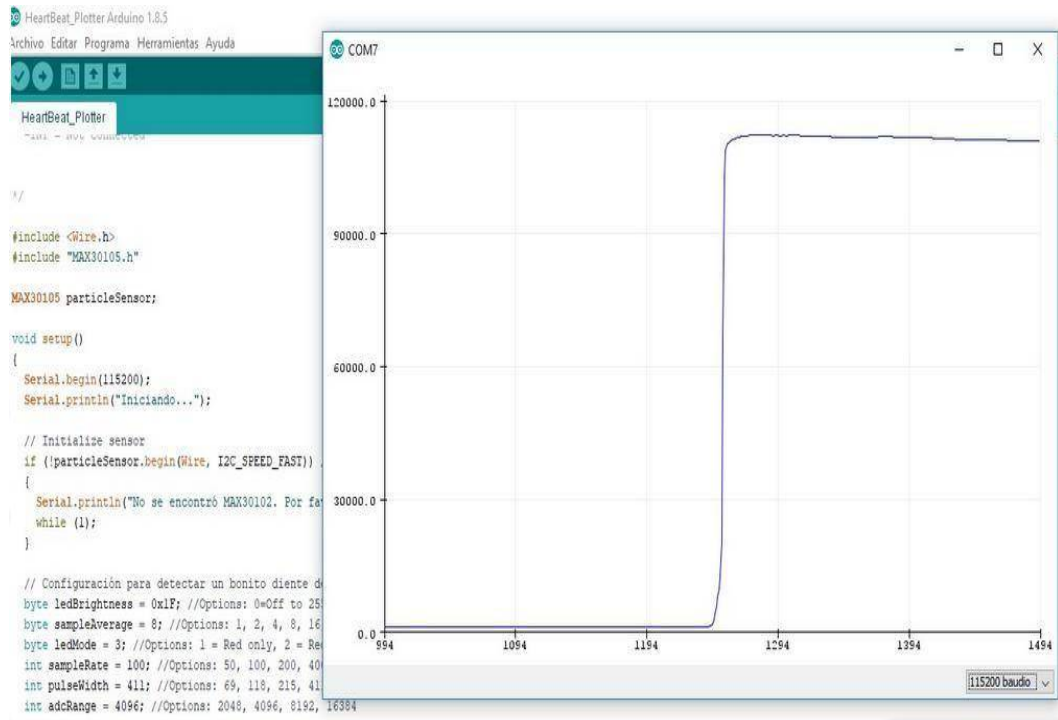


Figura 36: Forma de onda con sin presencia de pulso.

Como se ha mencionado anteriormente, las pruebas realizadas en la cámara serán útiles para determinar la latencia en la transmisión de video. El resultado obtenido fue una latencia de 2 s aproximadamente.



Figura 37: Pruebas en la cámara.

En la Figura 38 se muestra una captura de pantalla realizada en un celular conectado a la LAN. Solo es necesario ingresar a un navegador web e introducir la dirección IP y el número de puerto en la barra de URL.

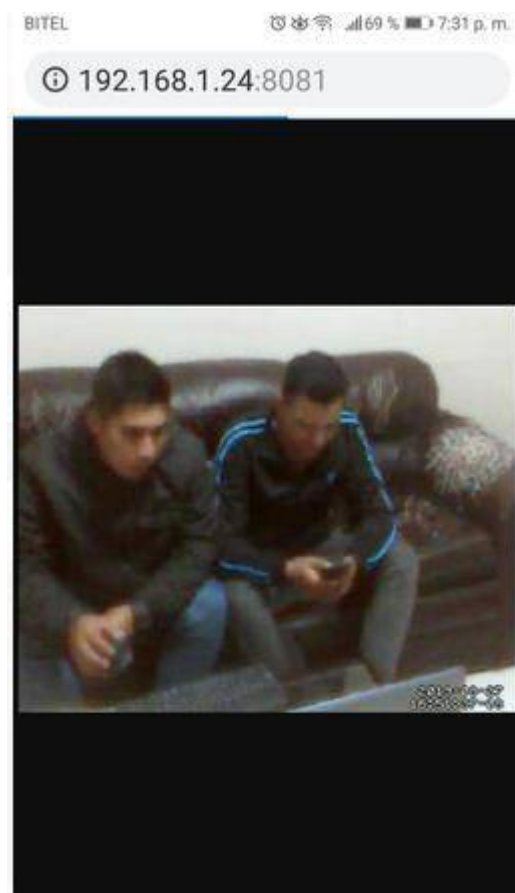


Figura 38: Pruebas de la cámara a través de celular.

En la Figura 39 se muestra el video en la pantalla de una laptop.



Figura 39: Pruebas de la cámara a través de laptop.

Las pruebas en el módulo Sim 900 permitirán comprobar que efectivamente se realizan llamadas y envío de mensajes de texto indicando que los niveles de pulso cardiaco están fuera rango, lo cual es un indicativo de que el bebe puede estar en peligro.

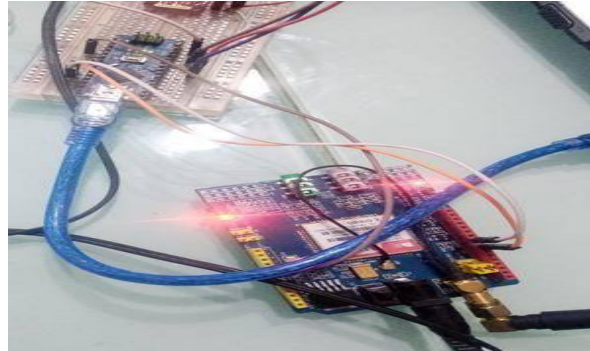


Figura 40: Pruebas del módulo Sim 900.



Figura 41: Código de prueba para el módulo Sim 900.



Figura 42: Llamadas y SMS enviados desde el módulo Sim 900.

3.6. Diseño de la placa de circuito impreso (PCB)

La PCB fue diseñada en el software Eagle. En ella se montarán los componentes que forman parte del sistema de monitoreo, especialmente la parte encargada de sensar el pulso de bebe y realizar llamadas y el envío de SMS: Pulsioxímetro, la tarjeta Arduino Nano y el módulo SIM 900.

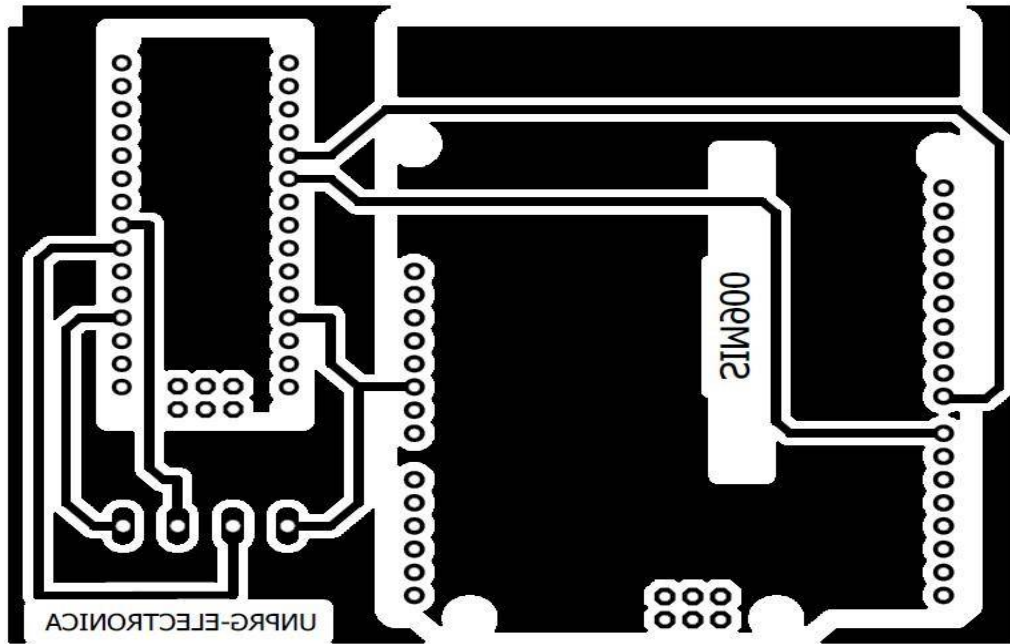


Figura 43: Diseño de la PCB.

En la Figura 44 se muestra el diseño final del prototipo.



Figura 44: Diseño final del prototipo.

3.7. Diagramas de flujo

En la Figura 45 se muestra un diagrama de flujo explicando el algoritmo de control programado en la tarjeta Arduino Nano.

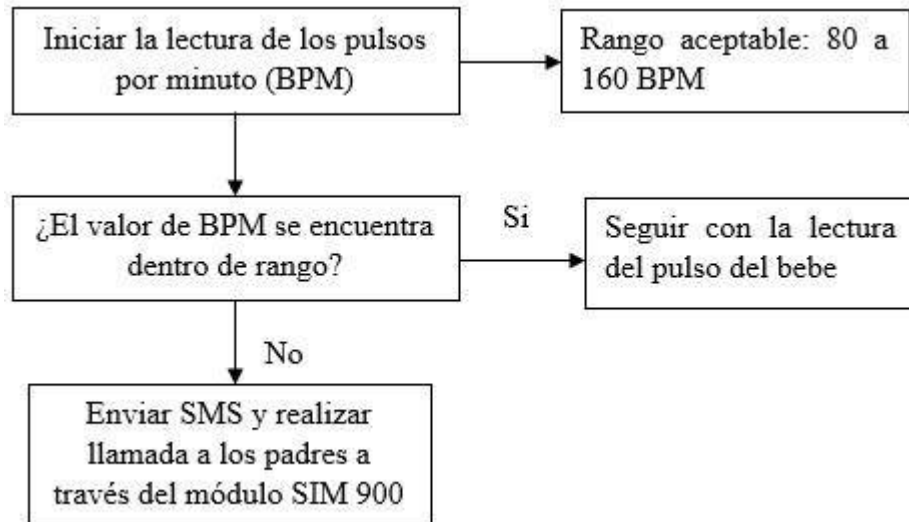


Figura 45: Algoritmo de control de la tarjeta Arduino Nano.

En la Figura 46 se muestra un diagrama de flujo con los pasos que se deben seguir para conectar el dispositivo de monitoreo a la LAN de forma inalámbrica.

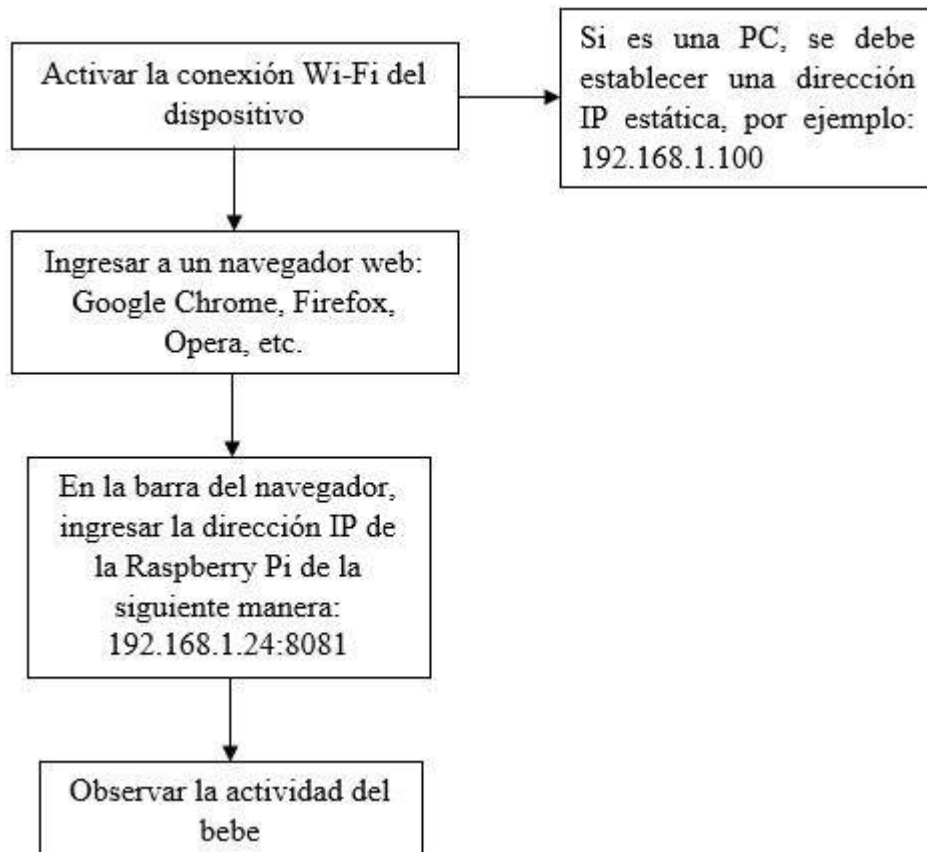


Figura 46: Algoritmo para empezar el monitoreo.

COSTOS

CAPITULO IV

4.1. Costo total del proyecto

En la Tabla 3 se muestra el costo de los dispositivos utilizados para formar parte del sistema de monitoreo.

Tabla 3: Costo total del proyecto.

N°	Descripción	Costo unitario (S/)	Cantidad	Precio (S/)
01	MAX30100	40,00	01	40,00
02	Arduino Nano	30,00	01	30,00
03	Raspberry Pi 3 B+	210,00	01	200,00
04	Cámara	20,00	01	20,00
05	Fuente de alimentación	25,00	01	25,00
09	SIM 900	100,00	01	100,00
10	Cautín	15,00	01	15,00
11	Estaño	1,00	01	1,00
12	Resistencias	0,10	05	0,50
13	Condensadores	0,50	05	2,50
14	Fibra de vidrio	10,00	01	2,00
15	Ácido férrico	2,00	02	4,00
TOTAL				440,00

El costo total de implementación del proyecto es de S/. 448,00.

4.2. Comparación de precios y características

Tabla 4: Comparación de precios y características.

Producto	Prototipo	MBP668 Connect	Vtech
Precio (S/)	440,00	550,00	570,00
Características	Monitor para bebé con video a color con la capacidad de realizar lecturas de BPM y saturación de oxígeno en la sangre, además de enviar SMS y realizar llamadas.	Monitor para bebé con video a color y audio. Incluye aplicación y transmisión a través de Wi-Fi.	Monitor para bebé con video a color y audio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- 1) Se logró diseñar e implementar correctamente un prototipo de un sistema de monitoreo para bebés, el cual tiene como objetivo supervisar la actividad del bebé mientras duerme y medir el pulso cardíaco para evitar el SMSL.
- 2) Se decidió utilizar tecnología cableada para la conexión entre el sensor y el Arduino Nano, debido a que los sensores inalámbricos tienen un costo muy elevado. Sin embargo, la conexión de la PC, Laptop o Smart TV a la red LAN se puede realizar de dos formas: mediante un cable de red, o inalámbricamente utilizando Wi-Fi.
- 3) Teniendo en cuenta que el prototipo tiene que ser fiable y de bajo costo, se seleccionaron componentes con altas funcionalidades, como Arduino, el cual es dispositivo muy económico y fácil de adquirir en el mercado (Ver Tabla 4).
- 4) Después de implementar el prototipo y realizar las pruebas necesarias, se pudo determinar que el sistema de monitoreo tiene un buen funcionamiento.

RECOMENDACIONES

- 1) Aun no se sabe cuáles son las causas exactas que producen la muerte súbita del lactante. Sin embargo, algunos estudios han determinado que hay relación entre algunos signos vitales y el SMSL, por ejemplo la saturación de oxígeno y el pulso cardíaco. Si estudios posteriores determinan que otros signos vitales tienen relación con el SMSL, pueden incorporarse al prototipo pues el Arduino Nano cuenta con siete entradas analógicas para realizar la lectura de sensores.
- 2) Tratar de que la red LAN tenga acceso a internet para que la Raspberry Pi pueda actualizar sus paquetes y su SO a través de los repositorios de la web oficial. De esta manera, una nueva actualización podría mejorar la calidad y transmisión de video.
- 3) Deshabilitar el DHCP y asignar una dirección IP estática a los dispositivos de monitoreo como Laptops o PC dentro del siguiente rango: 192.168.1.25-254.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo P., A., & Lagos T., A. P. (s.f.). *GUIA CLINICA DE SIGNOS VITALES*.
Obtenido de <http://academico.upv.cl/doctos/KINE-4068/%7B328B1B37-2C2A-4747-8B38-169806A27753%7D/2012/S1/GUIA%20TECNICA%20DE%20CONTROL%20DE%20SIGNOS%20VITALES%20KINE.pdf>
- Arapa Cruz, F. M., Morocco Hanco, J. A., & Vilca Pacco, J. L. (2018 de Noviembre de 2018). *CIRCUITOS DIGITALES 2018 - II*. Obtenido de <https://circuitosdigitales2018ii.blogspot.com/2018/11/laboratorio-n-6.html>
- Campos, E. (10 de Agosto de 2018). *TIPOS DE ARDUINO*. Obtenido de <http://exparduin.blogspot.com/>
- Cruceira, R. C. (03 de Octubre de 2017). *Raspberry Pi: características y aplicaciones*. Obtenido de <https://ingenierate.com/2017/10/03/raspberry-pi-caracteristicas-aplicaciones/>
- Estrada, R. (18 de Octubre de 2017). *Qué es Arduino ? su historia e importancia*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/que-es-arduino/>
- García García, F. E. (2008). *Síndrome de muerte súbita del lactante*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/ped/v80n2/ped09208.pdf>
- García Redondo, A. M. (21 de Enero de 2016). *¿Qué es la frecuencia cardiaca? ¿Cuál es la normal?* Obtenido de <https://www.medicalnewstoday.com/articles/291182.php>
- González Pérez, E., Rodríguez Hernández, M., & Marrero García, A. (s.f.). *Principales hipótesis y teorías patogénicas del SMSL*. Obtenido de <http://www.fcs.uner.edu.ar/libros/archivos/ebooks/Pediatrica/MuerteSubitaLactante/5.pdf>
- I-Tech. (10 de Julio de 2018). *ARDUINO y RASPBERRY PI*. Obtenido de http://indesacompany.com/i_tech/
- Izquierdo Macián, I., Zorio Grima, E., & Molina Aguilar, P. (s.f.). *Principales hipótesis y teorías patogénicas del síndrome de la muerte súbita del lactante*. Obtenido de https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/libro_blanco_muerte_subita_3ed_1382443810.pdf
- Kaneshiro, N. K. (09 de Mayo de 2017). *Síndrome de muerte súbita del lactante*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001566.htm>
- Laborde, M. (Junio de 2004). *Medida de la Saturacion de Oxigeno por Medio Optico*. Obtenido de <http://www.nib.fmed.edu.uy/laborde.pdf>

- Latorre Castro, M. L. (2014). *Síndrome Infantil de Muerte Súbita: ¿Un problema de salud pública en Bogotá D.C.?* Obtenido de http://bdigital.unal.edu.co/48050/1/35498661_2014.pdf
- Latorre Castro, M. L., Fernández Deaza, G. P., & Ucrós Rodríguez, S. (10 de Junio de 2014). *Síndrome Infantil de Muerte Súbita: nuevos conceptos y una misma solución*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/45415/46880>
- Llamas, L. (15 de Octubre de 2017). *¿Qué es Raspberry Pi?* Obtenido de <https://www.luisllamas.es/que-es-raspberry-pi/>
- Marroquin, L. (s.f.). *Signos vitales*. Obtenido de http://www.academia.edu/22227638/Signos_vitales
- Montero Arias, A. (09 de Febrero de 2018). *Historia de Arduino*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/371169867/Historia-de-Arduino>
- Mora Alfonso, S. A., Bello Gualtero, J. M., Londoño, J., Valle-Oñate, R. R., & Quintana, G. (Marzo de 2011). *est de respiración única para la capacidad de difusión de monóxido de carbono (DLCO) y su interpretación en enfermedades autoinmunes. Historia y bases fisiológicas*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcrc/v18n1/v18n1a06.pdf>
- Moreano Sánchez, G. V. (Febrero de 2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA UN PROTOTIPO DE INCUBADORA NEONATAL QUE INCLUYA MONITOREO DE SIGNOS VITALES*. Obtenido de <bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9133/3/CD-6087.pdf>
- Muñoz, M. (11 de Septiembre de 2018). *ARDUINO*. Obtenido de <https://prezi.com/cz704rcxgvc6/untitled-prezi/>
- Noguerol Casado, M., & Seco González, A. (s.f.). *Pulsioximetría*. Obtenido de <https://www.fisterra.com/material/tecnicas/pulsioximetria/pulsioximetria.pdf>
- Pérez Amigo, J. (13 de Marzo de 2017). *¿Cuántas son las pulsaciones normales por edad y estado?* Obtenido de <https://revistadigital.inesem.es/biosanitario/pulsaciones/>
- Pérez, G. (s.f.). *Saturación de oxígeno en sangre*. Obtenido de https://www.gasometria.com/saturacion_de_oxigeno_en_sangre
- R. Livingston, F. (Marzo de 2014). *El síndrome de la muerte súbita en lactantes*. Obtenido de <https://kidshealth.org/es/parents/sids-esp.html>
- Sánchez Ruiz-Cabello, F. J., & Ortiz González, L. C. (2013). *Síndrome de la muerte súbita del lactante (parte 1). Factores de riesgo*. Obtenido de

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322013000500017

Y. Moon, R. (01 de Diciembre de 2017). *Cómo mantener seguro a su bebé cuando duerme: explicamos la política de la AAP - American Academy of Pediatrics*. Obtenido de <https://www.healthychildren.org/spanish/ages-stages/baby/sleep/paginas/a-parents-guide-to-safe-sleep.aspx>