



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN PARA LOS  
OXÍMETROS UTILIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE  
PEDIATRÍA DEL HOSPITAL GENERAL  
SAN JUAN DE DIOS**

**Sergio Estuardo Galindo Paredes**  
**Asesorado por: Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota**

**Guatemala, febrero de 2008**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN PARA LOS  
OXÍMETROS UTILIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE  
PEDIATRÍA DEL HOSPITAL GENERAL  
SAN JUAN DE DIOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

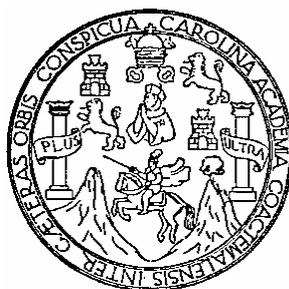
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA POR:

**SERGIO ESTUARDO GALINDO PAREDES**

ASESORADO POR: INGA. INGRID RODRIGUEZ DE LOUKOTA  
AI CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 200

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Ramírez Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Ing. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN PARA LOS  
OXÍMETROS UTILIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE  
PEDIATRÍA DEL HOSPITAL GENERAL  
SAN JUAN DE DIOS,**

tema que fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica- Eléctrica, el 12 de agosto de 2005.



---

Sergio Estuardo Galindo Paredes

Guatemala, 15 de enero de 2007

Ingeniero,  
Ángel Roberto Sic García  
Coordinador Unidad EPS  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Estimado Ingeniero Sic:

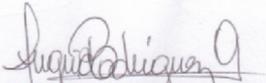
Por este medio le informo que como asesor del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) del estudiante de la carrera de ingeniería electrónica **SERGIO ESTUARDO GALINDO PAREDES**, procedí a revisar el informe final de la practica de EPS, titulado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN PARA LOS OXÍMETROS UTILIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE PEDIATRÍA DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**, habiéndolo encontrado satisfactorio.

Cabe Mencionar que los puntos planteados en este trabajo contribuyen un valioso aporte a la Universidad de San Carlos de Guatemala, al Hospital General San Juan de Dios y en general a la república de Guatemala.

En tal virtud, lo doy por aprobado, solicitando dar el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente:

  
Ingrid Rodríguez de Loukota  
Ingeniera en Electrónica  
Colegiada Activo 5356  
Asesora

  
Ingrid Rodríguez de Loukota  
INGENIERA EN ELECTRÓNICA  
COLEGIADA 5356

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 12 de marzo de 2007  
Ref. EPS. C. 116.03.07

Ing. Angel Roberto Sic García  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Sic García.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, **SERGIO ESTUARDO GALINDO PAREDES**, procedí a revisar el informe final de la práctica de EPS, cuyo título es titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN PARA LOS OXÍMETROS UTILIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE PEDIATRÍA DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS”**.

Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz  
Supervisor de EPS

Área de Ingeniería Mecánica – Eléctrica



KIER/jm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 12 de marzo de 2007  
Ref. EPS. C. 116.03.07

Ing. Renato Escobedo  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Escobedo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN PARA LOS OXÍMETROS UTILIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE PEDIATRÍA DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS”**.

Este trabajo lo desarrolló el estudiante universitario, **SERGIO ESTUARDO GALINDO PAREDES**, quien fue asesorado por la Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del asesor y supervisor, en mi calidad de director apruebo su contenido; solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

Ing. Ángel Roberto Sic García  
Director Unidad de EPS



ARSG/jm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 20 de noviembre 2007.

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN PARA LOS  
OXÍMETROS UTILIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE  
PEDIATRÍA DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS,** del  
estudiante; Sergio Estuardo Galindo Paredes, por considerar que cumple  
con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
**Ing. Julio César Solares Peñate**  
Coordinador del Área Electrónica



JCSP/sro

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura: en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Sergio Estuardo Galindo Paredes titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN PARA LOS OXÍMETROS UTILIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE PEDIATRÍA DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS,** procede a la autorización del mismo.

**Ing. Mario Renato Escobedo Martínez**  
**DIRECTOR**



**GUATEMALA, 16 DE ENERO 2,008.**

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

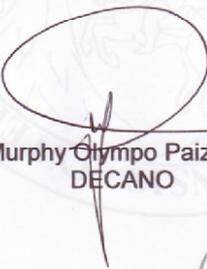


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 045.2008

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN PARA LOS OXÍMETROS UTILIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE PEDIATRÍA DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS** presentado por el estudiante universitario **Sergio Estuardo Galindo Paredes**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, Febrero de 2008



/gdech

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Fuente eterna de sabiduría, quien me ha dado fuerzas para poder culminar mis metas con éxito.
<b>Mi madre</b>	Martha Paredes, por el enorme sacrificio hecho por mí, el amor y apoyo incondicional que me brindó.
<b>Mi padre</b>	Agustín Galindo, por su apoyo y sabio consejo
<b>Mi hermano</b>	Juan Diego, por su comprensión, fortaleza y confianza en todo momento.
<b>Mi esposa</b>	Blanca Patricia por su amor, paciencia comprensión y apoyo en todos los momentos de mi vida.
<b>Mis hijos</b>	Katherine y Rodrigo, por ser motivo de mi superación.
<b>Mis tíos</b>	Por el apoyo que me brindaron en todo momento.
<b>Mis amigos</b>	Por su amistad y apoyo.
<b>Ingenieros</b>	Ingrid de Loukota y Romeo Lòpez, por su paciencia y dedicaciòn.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por brindarme la oportunidad de convertirme en profesional.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XIII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XVII</b>
<b>1. GENERALIDADES DE LA INSTITUCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes del hospital	1
1.1.1 Reseña histórica	1
1.1.2 Misión del hospital	2
1.1.3 Visión del hospital	2
1.2 Estructura del hospital	2
1.3 Servicios que el hospital brinda	3
1.3.1 Departamento de emergencia	3
1.3.2 Departamento de consulta externa	5
1.3.3 Departamento de cirugía y especialidades	5
1.3.4 Departamento de medicina	5
1.3.5 Departamento de maternidad	5
1.3.6 Departamento de anestesia	5
1.3.7 Departamento de intensivo	5
1.3.8 Departamento de pediatría	6
1.3.8.1 Consulta externa	6
1.3.8.2 Intensivo	7
1.3.8.3 Emergencia	7

<b>2</b>	<b>CONCEPTOS Y DEFINICIONES FUNDAMENTALES</b>	<b>9</b>
2.1	Conceptos y definiciones de electrónica	9
2.1.1	Ondas electromagnéticas	9
2.1.2	Frecuencia y longitud de onda	10
2.1.3	Espectro electromagnético	11
2.1.4	Absorción de luz	13
2.1.4.1	El espectrofotómetro	13
2.1.5	Sensores ópticos	14
2.2	Conceptos y definiciones de medicina	14
2.2.1	Saturación de oxígeno	14
2.2.2	Gradiente de presión alveolar-arterial de oxígeno	15
2.2.3	Presión arterial de oxígeno	15
2.2.4	Curva de disociación de oxígeno	16
<b>3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL OXÍMETRO</b>	<b>19</b>
3.1	Generalidades y características del oxímetro	19
3.2	Componentes funcionales	21
3.2.1	El sensor	21
3.2.1.1	Elementos que lo conforman	21
3.2.1.2	Funcionamiento del sensor	21
3.2.1.3	Tipos de sensor	23
3.2.2	Procesamiento de señales del sensor	25
3.2.2.1	Diagrama a bloques	26
3.2.2.2	Funcionamiento del sistema	27
3.2.3	Procesamiento de datos en el microprocesador	30
3.2.3.1	Puerto de comunicaciones	31
<b>4.</b>	<b>SITUACIÓN ACTUAL DEL EQUIPO</b>	<b>35</b>

4.1	Diagnóstico del equipo de oxímetros	35
4.1.1	Registro de oxímetros	36
4.1.2	Condiciones de los oxímetros	39
4.1.2.1	Oxímetros en mal estado	40
4.1.3	Tiempo de uso diario del oxímetro	40
4.2	Personal que lo utiliza	40
4.3	Tipo de mantenimiento	41
<b>5.</b>	<b>PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE OXÍMETROS</b>	<b>43</b>
5.1	Mantenimiento preventivo	43
5.1.1	Frecuencia de servicio	44
5.1.2	Rutinas de mantenimiento	46
5.1.2.1	Rutina de mantenimiento diaria de oxímetros.	46
5.1.2.2	Rutina de mantenimiento mensual de oxímetros.	48
5.1.2.3	Rutina de mantenimiento semestral de oxímetros.	52
5.1.3	Personal a realizarlo	56
5.1.3.1	Operador del equipo	56
5.1.3.2	Técnico de equipo médico	57
5.2	Control de mantenimiento	57
5.2.1	Formatos de control de mantenimiento	57
5.2.1.1	Formato de rutina de mantenimiento Preventivo	58
5.2.1.2	Formato de solicitud de Mantenimiento	60
5.2.1.3	Formato de orden de trabajo	61

5.2.1.4	Historial de fallas y averías	61
5.2.1.5	Control anual de mantenimiento preventivo	61
5.2.2	Proceso de utilización de las rutinas de mantenimiento	62
5.3	Manual de operación del oxímetro	66
5.3.1	Conexión del sensor al paciente	66
5.3.1.1	Seleccionar el sensor adecuado	66
5.3.1.2	Chequear el sensor y el cable del oxímetro	71
5.3.1.3	Limpiar y desinfectar el sensor	74
5.3.1.4	Colocar el sensor al paciente	74
5.3.2	Encendido del monitor	75
5.3.3	Alarmas	77
5.3.4	Alertas	78
5.3.5	Indicador de batería baja	80
5.3.6	Cargar batería del monitor	80
5.3.7	Impresora y comunicación con pc	81
5.3.8	Calibración de salida analógica	82
5.3.9	Fallas	82
5.3.10	Consideraciones sobre interferencia electromagnética	85
<b>6</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN</b>	<b>89</b>
6.1	Difusión	89
6.1.1	Reuniones con operadores y encargados	

de equipo	89
6.1.2 Capacitación	89
6.1.2.1 Capacitación a operadores de equipo	90
6.1.2.2 Capacitación a encargados de equipo	92
6.1.2.3 Capacitación a técnicos de equipo médico	92
6.2 Costos para la iniciación del programa	94
6.2.1 Costos en personal	94
6.2.2 Costos en herramientas, equipos y materiales	94
6.2.3 Costos de rutinas de mantenimiento	96
6.3 Seguimiento del programa de mantenimiento preventivo para oxímetros	96
6.3.1 Auditorías periódicas	97
6.3.2 Supervisión	97
6.3.3 Visitas de inspección de desarrollo de las rutinas	97
6.3.4 Formato de supervisión	98
6.4 Evaluación	99
6.5 Resultados	100
6.5.1 Resultados a corto plazo	100
6.5.2 Resultados a largo plazo	101
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>103</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>107</b>

<b>ANEXO</b>	<b>109</b>
Anexo 1. Formato de rutina de mantenimiento preventivo	109
Anexo 2. Solicitud de mantenimiento	110
Anexo 3. Formato de orden de trabajo	111
Anexo 4. Historial de fallas y averías	112
Anexo 5. Control anual de mantenimiento	114
Anexo 6. Reparación de oxímetros	115
Anexo 7. Repuestos faltantes para la reparación de oxímetros	116

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Organigrama Hospital General San Juan de Dios	4
2.	Espectro electromagnético	12
3.	Curva de disociación de oxígeno	17
4.	Funcionamiento del sensor óptico	22
5.	Sensor dactilar	24
6.	Sensor para lóbulo de la oreja	24
7.	Sensor por reflexión	25
8.	Diagrama a bloques de oxímetro de pulso	26
9.	Señales de temporización para excitación de los LED	27
10.	Incidencia de luz a través del dedo	29
11.	Limpieza del sensor del oxímetro de pulso	50
12.	Diagrama de flujo del proceso de las rutinas de mantenimiento	63
13.	Conexión y desconexión del sensor del oxímetro	70
14.	Posición del cable del sensor	71
15.	Conexión del sensor con cable de extensión	73
16.	Alineación del sensor	75
17.	Ejemplo de alarma	77
18.	Ejemplo de alerta	79

## TABLAS

I	Características del sensor según fabricantes	23
II.	Inventario de oxímetros en pediatría del Hospital San Juan de Dios	36
III.	Estado de los oxímetros en pediatría del Hospital San Juan de Dios	38
IV.	Materiales y herramientas requeridos para realizar la rutina de mantenimiento diaria de los oxímetros de pulso.	47
V.	Materiales y herramientas requeridos para realizar la rutina de mantenimiento mensual de los oxímetros de pulso.	48
VI.	Materiales y herramientas requeridos para realizar la rutina de mantenimiento semestral de los oxímetros de pulso.	53
VII.	Sensores adecuados a cada paciente para el oxímetro de pulso BCI 3304	67
VIII.	Sensores adecuados a cada paciente para el oxímetro de pulso NELLCOR	68
IX.	Sensores adecuados a cada paciente para el oxímetro de pulso DATEX OHMEDA	69
X.	Pulsos para calcular los parámetros	76
XI.	Posibles fallas, causa y solución	83
XII.	Análisis de precio de materiales por equipo	95
XIII.	Formato de control de supervisión	98

## **GLOSARIO**

<b>Absortividad:</b>	Capacidad que tiene un elemento de retener cierta cantidad de luz.
<b>Apnea:</b>	Falta o suspensión de la respiración.
<b>Baudio:</b>	Describe la cantidad que la línea de transmisión cambia de estado en un segundo.
<b>Cardiopulmonar:</b>	Sucesos relacionados con el corazón y pulmones.
<b>Curva plestimográfica:</b>	Curva del oxímetro que nos proporciona una indicación relativa de la fuerza con que circula la sangre en el lugar donde se coloca el sensor.
<b>Endocrinología:</b>	Trata todo lo relacionado con el sistema endocrino y problemas de diabetes.
<b>Espectrofotómetro:</b>	Aparato para medir la absorción de luz en diferentes materiales.
<b>Filtro pasabanda:</b>	Dispositivo que nos permite pasar señales en un rango específico de frecuencias.
<b>Hemoglobina:</b>	Pigmento que da el color rojo en la sangre.

<b>LED:</b>	Elemento electrónico que emite luz, en español significa diodo emisor de luz.
<b>Nefrología:</b>	Trata de enfermedades de los riñones.
<b>No invasivo:</b>	Que se coloca por encima de la piel.
<b>Oncología:</b>	Realiza estudios sobre crecimientos cancerígenos.
<b>Ruido:</b>	Señal indeseable que se suma a cualquier señal de mensaje.
<b>Sensor:</b>	Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión luz, etc.

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>A.C.:</b>	Corriente alterna.
<b>AGC:</b>	Control automático de ganancia.
<b>C:</b>	Velocidad de la luz.
<b>D.C.:</b>	Corriente directa.
<b>f:</b>	Frecuencia.
<b>Hb:</b>	Hemoglobina.
<b>Hz:</b>	Hertz.
<b>Khz:</b>	Kilohertz.
<b>m:</b>	Metro.
<b>PAO<sub>2</sub>:</b>	Presión parcial de oxígeno alveolar.
<b>mmHg:</b>	Milímetros de mercurio.
<b>ml:</b>	Mililitro.

<b>mW:</b>	Miliwatt.
<b>nm:</b>	Nanómetro.
<b>PaO2:</b>	Presión parcial de oxígeno arterial.
<b>P(A-a)O2:</b>	Gradiente alveoloarterial de oxígeno.
<b>SaO2:</b>	Saturación arterial de oxígeno.
<b>SPO2:</b>	Saturación de oxígeno.
<b>THz:</b>	Terahertz.
<b>us:</b>	Microsegundo.

## **RESUMEN**

En el departamento de pediatría del hospital general San Juan de Dios, es muy importante y necesario el uso de oxímetro de pulso, porque al ser un monitor no invasivo, se puede utilizar en cualquier situación sin necesidad de grandes procedimientos médicos para su conexión.

Para que estos equipos funcionen correctamente, es necesario que sean manipulados con el cuidado necesario, sin maltratarlos y que se les brinde un mantenimiento preventivo periódicamente.

Con esto se hace necesario diseñar un plan de mantenimiento preventivo, para que estandarice la forma de limpiar y mantener el equipo en buenas condiciones, así como los cuidados que se deba tener a la hora de manipularlos.

Con este mantenimiento se evita que el equipo se deteriore, incurra en fallas seguidas y en recurrir seguido a rutinas de mantenimiento correctivo, que a la larga serían gastos mayores para el hospital.



# OBJETIVOS

## General

Implementar un plan de mantenimiento preventivo y calibración para los oxímetros de pulso, estandarizando las rutinas a realizar para que sean lo más confiables en el menor tiempo posible.

## Específicos

1. Evitar el deterioro de los oxímetros, utilizando procedimientos de mantenimiento adecuados y procedimientos para el buen uso y manejo del equipo.
2. Determinar los parámetros normales de SpO<sub>2</sub> y pulso cardíaco, para dar referencia a los usuarios del equipo.
3. Capacitar a técnicos y usuarios de equipo sobre los conceptos básicos y funcionamiento de los oxímetros.
4. Dar a conocer los cuidados que se deben tener en la manipulación del oxímetro y sus periféricos.
5. Proponer un programa de mantenimiento que mejore el programa actualmente utilizado, tanto en costos como en eficiencia.

6. Establecer el estado general de los oxímetros, para tomar en cuenta con cuantos equipos funcionales se puede contar.
7. Diseñar procedimientos que hagan efectivas y fáciles las rutinas de mantenimiento.
8. Determinar los factores que influyen en la mayor incidencia de fallas en los equipos

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de E.P.S. se diseña e implementa un plan de mantenimiento preventivo y calibración a los oxímetros de pulso utilizados en el departamento de pediatría del hospital general San Juan de Dios. El mantenimiento preventivo en equipos médicos, es sumamente importante, ya que con ello se puede evitar que los aparatos se deterioren rápidamente.

Hoy en día, los oxímetros de pulso se han convertido en una necesidad, es imposible que falten tanto en salas de intensivos, como en salas de operaciones y post-operaciones, ya que monitorea de forma no invasiva los signos vitales como la saturación de oxígeno y el pulso cardíaco, que son parámetros vitales que se deben chequear continuamente y es imprescindible mantenerlos en los parámetros aceptables para evitar riesgos en la vida de los pacientes.

Por lo descrito anteriormente, se debe cerciorar que los parámetros mostrados en la pantalla del oxímetro, sea una medida confiable de los signos vitales que se están monitoreando, esto en principio lo conseguimos haciendo una buena limpieza en el sensor, por lo que se hace cada vez más importante realizar rutinas periódicas de mantenimiento.

Además se debe hacer conciencia al personal que opera los equipos y las personas que prestan el mantenimiento, que manipulen el equipo de la manera correcta, ya que de ello pueden depender varias vidas.

Al analizar la situación de los oxímetros y la razón por la cual hay una mayor probabilidad de falla en los equipos, se incluirán rutinas para evitar éstas fallas, y así obtener una mejor eficiencia en los procedimientos de mantenimiento y un mejor rendimiento de los oxímetros en el departamento de pediatría del hospital, para ello se organizarán los recursos y se asignará tiempos adecuados al mantenimiento.

Con esto conseguiremos un diagnóstico general que nos permitirá detectar los puntos críticos en el mantenimiento, ya que de esto depende mucho el funcionamiento del equipo, para dar la solución óptima, ya que la demanda de éste equipo cada vez se incrementa y debemos minimizar el tiempo muerto de los equipos.

# **1. GENERALIDADES DE LA INSTITUCIÓN**

El Hospital General San Juan de Dios es una entidad pública que presta servicios de atención directa a los pobladores de varias áreas del país, en forma permanente y activa. El desarrollo de su estructura física como su estructura de servicios se ha retrasado muchas veces, algunas por desastres naturales y otras por problemas socioeconómicos.

## **1.1 Antecedentes del hospital**

### **1.1.1 Reseña histórica**

Su nombre se debe a la orden religiosa de los hermanos “San Juan de Dios” quienes promulgaron un servicio público a partir del año 1778, específicamente un 24 de octubre. Su administración estuvo a cargo de dos personas individuales quienes se vieron obligadas a entregar el cargo a las hermanas de la caridad en 1873.

En 1944, el Ministerio de Salud Pública toma en su poder la conducción del Hospital y en años posteriores, surgieron los departamentos de Pediatría, Ginecología, Medicina y Cirugía.

Por las catástrofes naturales que el país ha sufrido, las instalaciones del Hospital han ido sufriendo modificaciones. El terremoto de 1976 obligó al traslado de las instalaciones al parque de la industria zona 9, siendo necesaria

la reconstrucción del edificio. Éste fue remodelado en algunas áreas, construyéndose por primera vez en el área de encamamiento médico quirúrgico de adultos; ocupándose el nuevo edificio en 1983 donde actualmente funciona.

### **1.1.2 Misión del hospital**

Es un hospital nacional-docente asistencial del tercer nivel del ministerio de salud pública y asistencia social de Guatemala, responsable de brindar atención médica integral, oportuna, eficiente y eficaz que contribuye en la salud de la población.

### **1.1.3 Visión del hospital**

La visión del Hospital San Juan de Dios es ser una entidad pública de vanguardia con vocación docente, asistencial y de investigación, para brindar atención médica integral de tercer nivel a la población guatemalteca, con personal técnico y profesional especializados, utilizando la mejor tecnología.

## **1.2 Estructura del hospital**

Siendo una dependencia pública el Hospital General San Juan de Dios, depende exclusivamente del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, cuya finalidad es prestar atención médica de calidad a través de la optimización de recursos, acoplando según sus necesidades las políticas nacionales. Para el cumplimiento a cabalidad de las múltiples funciones del hospital, es necesario que exista una organización que propicie la división de las responsabilidades y funciones. Existen tres niveles de división:

- ❖ En nivel superior. Representado por la Dirección General o Dirección Ejecutiva, El consejo Directivo y los comités, quienes se encargan de supervisar las actividades de planificación, dirección, control y organización.
  
- ❖ El segundo nivel, pone en marcha las direcciones del nivel superior y está integrado por las subdirecciones, departamentos y subcomités.
  
- ❖ El tercer nivel está representado por los operativos que desarrollan y ejecutan directamente las actividades hospitalarias.

### **1.3 Servicios que el hospital brinda**

Para un mejor control de los servicios médicos que el hospital brinda, éstos se han dividido en departamentos, como se ve en el organigrama de la figura 1, se detallan estos departamentos y las derivaciones que cada uno de ellos tiene.

#### **1.3.1 Departamento de emergencia**

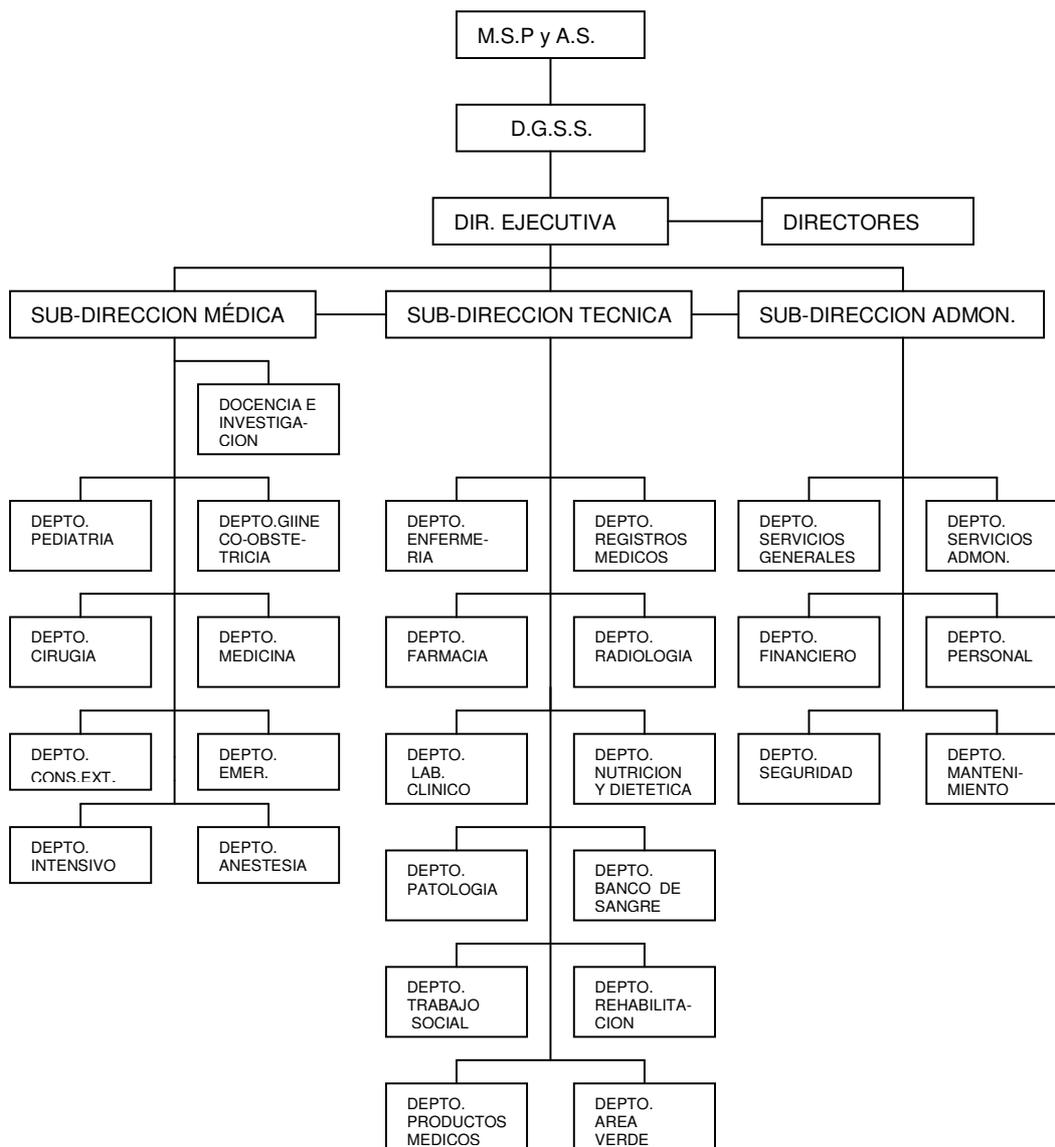
En este departamento se atienden casos urgentes por cualquier proceso patológico que ponga en peligro la vida del ser humano a un muy corto plazo.

#### **1.3.2 Departamento de consulta externa**

En consulta externa se atienden pacientes de enfermedades comunes, y si es necesario es de éste departamento de donde se hace el ingreso para los pacientes hacia el departamento que lo amerite; además de las clínicas

médicas en este departamento se tiene servicio de estomatología, oftalmología, neurología, etc.

**Figura 1. Organigrama hospital general San Juan de Dios**



Fuente: Hospital San Juan de Dios

### **1.3.3 Departamento de cirugía y especialidades**

En este departamento se hacen dos grandes diferencias, cirugía de hombres y cirugía de mujeres, así también existe traumatología para cada grupo, además, las especialidades con las que se cuentan son, cirugía de tórax, neurocirugía, urología, otorrinolaringología, cirugía maxilofacial, y operados de emergencias.

### **1.3.4 Departamento de medicina**

Aquí están los pacientes, dividiendo a hombres y mujeres, que necesitan un tratamiento médico sin cirugía, por lo regular son enfermedades comunes, que necesitan encamamiento.

### **1.3.5 Departamento de maternidad**

El mismo se subdivide en ginecología y obstetricia, complicaciones prenatales, labor y partos, post parto.

### **1.3.6 Departamento de anestesia**

Es el encargado de hacer los procesos de anestesia para las cirugías.

### **1.3.7 Departamento de intensivo**

En el intensivo, se tiene catalogados a los pacientes en tres grupos, los de cuidados intensivos, cuidados intermedios y cuidados coronarios.

### **1.3.8 Departamento de pediatría**

Éste departamento atiende niños de 0 años a 13 años, cuenta con equipo médico de lo más novedoso, es uno de los mejores equipados del país, atiende un promedio de 200 niños al día y cuenta con varias especialidades que están a disposición de los niños o niñas que las requieran.

El departamento de pediatría se subdivide en 3 grandes áreas que son: consulta externa, intensivo y emergencia.

#### **1.3.8.1 Consulta externa**

En consulta externa se atiende tanto a niñas como a niños en diferentes especialidades, dependiendo de la sintomatología que presenten, por lo general en consulta externa se ven casos que no ameritan hospitalización, pero según el diagnóstico médico se hacen las hospitalizaciones necesarias.

El área de consulta externa se divide en: consulta externa I y consulta externa II, cada una presta diferentes servicios que a continuación se detallan.

En la consulta externa I se encuentran servicios tales como: reumatología, nutrición, medicina de niñas, medicina de niños, gastroenterología, procedimientos de inmunizaciones, endocrinología, dermatología, nefrología, cardiología y genética.

La consulta externa II, presta los siguientes servicios: cirugía, estimulación temprana, hematología y oncología, neurología, psicología y traumatología.

### **1.3.8.2 Intensivo**

Atiende a pacientes que se encuentran en estado grave de salud, que necesitan ser monitoreados constantemente y necesitan equipo especial para ello, por ejemplo ventiladores, monitores, oxímetros, etc., ya que su vida depende de ello.

### **1.3.8.3 Emergencia**

Se atiende emergencias de cualquier proceso patológico que ponga en riesgo la vida del paciente, se atiende a niños y niñas de 0 a 13 años.



## 2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES ELEMENTALES

### 2.1 Conceptos y definiciones de electrónica

#### 2.1.1 Ondas electromagnéticas

Una onda electromagnética es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del vacío. Las ondas electromagnéticas ocurren como consecuencia de dos efectos, un campo magnético variable genera un campo eléctrico, o un campo eléctrico variable produce un campo magnético.

Las fuentes de radiación electromagnética son cargas eléctricas aceleradas, es decir que cambian con el tiempo su velocidad de movimiento. Las ondas electromagnéticas consisten en campos eléctricos y magnéticos oscilatorios que están en ángulo recto entre sí y también son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, esto significa que las ondas electromagnéticas son por naturaleza transversales.

En un medio isotrópico, homogéneo y constante; simbolizando la conductividad con  $\sigma$ , el campo eléctrico con  $\mathbf{E}$  y el magnético con  $\mathbf{B}$ :

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial}{\partial t} - \text{div grad}\right)\mathbf{E} = 0$$
$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial}{\partial t}\right)\mathbf{B} = 0$$

Las ecuaciones anteriores describen una onda con factores de atenuación dependientes de  $\sigma$  que se propaga a una velocidad  $c = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$ . Cuando la onda se propaga en el vacío  $\sigma = 0$  y la ecuación se reduce a la ecuación de ondas común:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0$$
$$\nabla^2 \mathbf{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = 0$$

Lo que demuestra que las amplitudes de los campos eléctricos y magnéticos de una onda electromagnética están relacionadas.

### 2.1.2 Frecuencia y longitud de onda

Son dos de las características principales de las ondas electromagnéticas, la frecuencia de una onda responde a un fenómeno físico que se repite cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo, esta frecuencia es tan importante que las propiedades de la radiación dependen de ella, se representa con la letra (  $f$  ) y su unidad de medida es el ciclo o hertz (Hz) por segundo.

Las ondas del espectro electromagnético se propagan por el espacio de forma similar a como lo hace el agua cuando tiramos una piedra a un estanque, es decir, generando ondas a partir del punto donde cae la piedra y extendiéndose hasta la orilla.

Tanto las ondas que se producen por el desplazamiento del agua, como las ondas del espectro electromagnético poseen picos o crestas, así como valles o vientres. La distancia horizontal existente entre dos picos consecutivos,

dos valles consecutivos, o también el doble de la distancia existente entre un nodo y otro de la onda electromagnética, medida en múltiplos o submúltiplos del metro (m), constituye lo que se denomina “longitud de onda”, y se representa por la letra griega lambda ( $\lambda$ ), su valor se puede encontrar con la siguiente fórmula matemática.

$$\lambda = C / f$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda, C es la velocidad de la luz y f es la frecuencia.

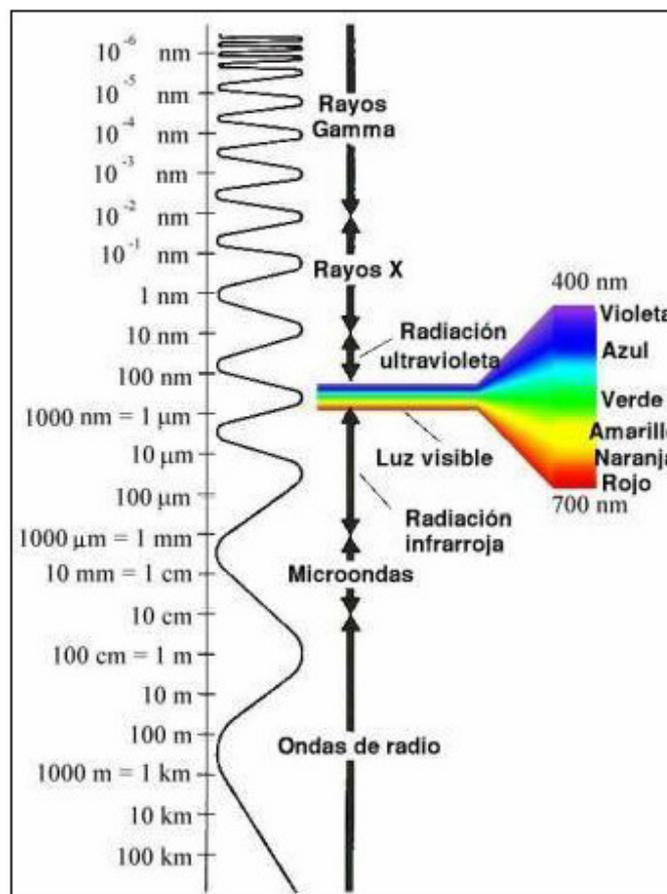
### **2.1.3 Espectro electromagnético**

Si las ondas electromagnéticas se organizan en un continuo de acuerdo a sus longitudes obtenemos el espectro electromagnético en donde las ondas más largas (longitudes desde metros a kilómetros) se encuentran en un extremo (Radio) y las más cortas en el otro (longitudes de onda de una billonésima de metros) (Gamma).

Los rayos infrarrojos abarcan aproximadamente desde los  $3,0 \times 10^{11}$  Hz (300 GHz) hasta los  $3,8 \times 10^{14}$  Hz (380 THz). La banda infrarroja se divide en tres secciones de acuerdo a su distancia a la zona visible: próxima (780 - 2500 nm), intermedia (2500 - 50000 nm) y lejana (50000 - 1mm). Cualquier molécula cuya temperatura sea superior a 0° Kelvin emite rayos infrarrojos. Esa emisión se incrementa a medida que las moléculas que integran un cuerpo cualquiera adquieren mayor temperatura. Los rayos infrarrojos de baja potencia se utilizan para accionar diferentes dispositivos de control remoto como, por ejemplo, el mando de los televisores, intercomunicación entre equipos y

dispositivos informáticos, visión nocturna, fotografía nocturna, etc., mientras que los de alta potencia se utilizan para generar calor.

**Figura 2. Espectro electromagnético**



Fuente: El espectro electromagnético

La radiación de la luz visible es la que nos permite ver los objetos del mundo material que nos rodea. Se localiza aproximadamente entre  $3,8 \times 10^{14}$

Hz (380 THz), correspondiente a la frecuencia del color violeta y los  $7,5 \times 10^{14}$  Hz (75 THz) pertenecientes a la frecuencia del color rojo. Esta es la única parte del espectro electromagnético visible para el ojo humano.

#### **2.1.4 Absorción de luz**

La luz consiste en paquetes de energía que se conocen como cuantos. La intensidad de un rayo de luz está en función con la cantidad de cuantos que se generan por segundo.

Los átomos de toda molécula se hallan en constante vibración, y estas vibraciones son similares a las que generan las ondas luminosas. En general, la luz tiende a ser absorbida al llegar a una sustancia cuando su frecuencia luminosa coincide con la vibración de los átomos de esa sustancia. Las características vibratorias de una determinada molécula pueden representarse como un espectro, o sea un gráfico de la absorción de energías electromagnéticas por la molécula a diversas longitudes de onda.

La fracción de luz absorbida en una longitud de onda específica se denomina absorptividad o coeficiente de extinción.

##### **2.1.4.1 El espectrofotómetro**

Es un dispositivo que genera una luz de intensidad conocida que penetra en la solución y mide la intensidad de la luz que sale de ella al ser transmitida a una superficie metálica cubierta por óxido.

Si la fuente luminosa tiene longitudes de onda acordes con las frecuencias vibratorias de ciertas moléculas que hay en la solución, se puede

medir indirectamente la concentración de esas moléculas. Esta medición se basa en el principio de que la intensidad luminosa que se absorbe al pasar por la solución es proporcional a la concentración de esa molécula en solución (ley de Beer).

### **2.1.5 Sensores ópticos**

La construcción de este tipo de sensores, se encuentra basada en el empleo de dos transductores de luz, uno que actúa como emisor, el cual convierte pulsos eléctricos en luz, y un fotodetector, el cual nos provee de una señal eléctrica que varía dependiendo de la intensidad lumínica que le sea proveída, en la actualidad los sensores ópticos más utilizados son los pares led-fotodiodo, ya sea normales o infrarrojos, y los pares led-fotodiodo láser.

## **2.2 Conceptos y definiciones de medicina**

### **2.2.1 Saturación de oxígeno**

La saturación de oxígeno es un parámetro que 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 sangre a 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 sangre que llega a los tejidos, sino, la relación existente entre la cantidad de hemoglobina presente y la cantidad de hemoglobina combinada con oxígeno (oxihemoglobina).

Este parámetro se puede, y usualmente se hace, sensor ópticamente, dado que la cantidad de oxihemoglobina está relacionada con la coloración roja de la sangre, siendo ésta más fuerte cuanto más oxihemoglobina contiene la sangre y más tenue cuanto menos oxihemoglobina hay presente.

### **2.2.2 Gradiente de presión alveolar-arterial de oxígeno**

En condiciones normales, la hemoglobina está totalmente saturada de oxígeno en la sangre que sale de los capilares pulmonares y la  $PaO_2$  capilar es igual a la  $PAO_2$ . Sin embargo la sangre que sale de los pulmones y vuelve al corazón izquierdo tiene una  $PaO_2$  menor que la de los capilares pulmonares.

Esta diferencia entre la presión parcial de oxígeno alveolar ( $PAO_2$ ) y arterial ( $PaO_2$ ) es el gradiente alveoloarterial de oxígeno  $P(A-a)O_2$ . La  $PAO_2$  normalmente es de 100 a 102 mmHg a nivel del mar. Estos valores se obtienen midiendo los gases en sangre arterial y utilizando la ecuación del gas alveolar.

$$P(A-a) O_2 = PAO_2 - PaO_2.$$

El gradiente entre la presión del  $O_2$  entre sangre y alveolo sirve como un índice de la eficacia del intercambio gaseoso pulmonar

### **2.2.3 Presión arterial de oxígeno**

La presión arterial o tensión arterial es la presión que ejerce la sangre contra la pared de las arterias. Esta presión es imprescindible para que circule la sangre por los vasos sanguíneos y aporte el oxígeno y los nutrientes a todos los órganos del cuerpo para que puedan funcionar.

La presión arterial tiene dos componentes:

- Presión arterial sistólica: corresponde al valor máximo de la presión arterial en sístole cuando el corazón late.
- Presión arterial diastólica: corresponde al valor mínimo de la presión arterial cuando el corazón está en diástole o entre latidos cardiacos. Depende fundamentalmente de la resistencia vascular periférica.

Cuando se expresa la tensión arterial, se escriben dos números separados por un guión, donde el primero es la presión sistólica y el segundo la presión diastólica.

La presión de pulso es la diferencia entre la presión sistólica y la diastólica.

La presión arterial se mide normalmente en milímetros de mercurio (mmHg) sobre la presión atmosférica. Los valores máximos normales de presión arterial en el adulto son 140/90 mm de mercurio sobre la presión atmosférica.

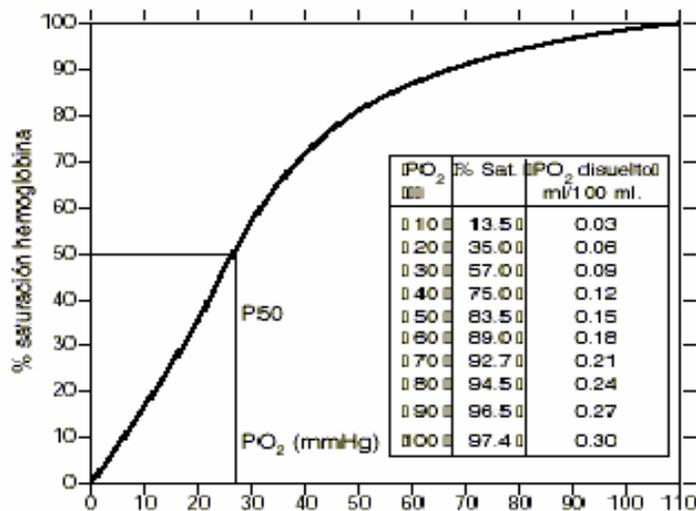
#### **2.2.4 Curva de disociación de oxígeno**

La curva de disociación de la oxihemoglobina relaciona el contenido de oxígeno a la presión parcial de oxígeno en la sangre. Con el fin de optimizar el transporte del  $O_2$  existe la hemoglobina (Hb) en los glóbulos rojos. Un gramo (g) de ella se combina con 1.39 mililitros (ml) de  $O_2$ . Por cada 100 ml de sangre hay 15 g de Hb por lo que la capacidad de transporte de oxígeno es de 20.8 ml de  $O_2$  /100 ml de sangre. La cantidad de  $O_2$  que se combina con la Hb depende de la presión parcial del  $O_2$  en la sangre. La magnitud del  $O_2$  combinado, sin embargo, no guarda una relación lineal con la presión de  $O_2$ , a diferencia del  $O_2$

disuelto; por lo tanto, la gráfica que relaciona el contenido de O<sub>2</sub> de la Hb con la presión, la curva de disociación de la Hb, no es una línea recta sino una curva que tiene una pendiente inicial pronunciada, entre 10 y 50 mmHg, y una parte plana, por encima de 60 mmHg.

Se puede observar que cuando la PaO<sub>2</sub> baja de 60 mmHg la cantidad contenida por la sangre se reduce considerablemente, sin embargo, cuando la presión parcial está por encima de dicha cifra sólo se consigue pequeños incrementos del contenido de O<sub>2</sub>.

**Figura 3. Curva de disociación de oxígeno**



Fuente: Fisiología de Guyton



## **3. DESCRIPCIÓN DEL OXÍMETRO**

### **3.1 Generalidades y características del oxímetro**

También llamado pulsioxímetro, oxímetro de pulso y pulsoxímetro, definiremos un pulsioxímetro como un espectrofotómetro que mide la absorción de luz de longitudes de onda específicas, al pasar por un lecho vascular arterial pulsátil. El oxímetro de pulso es, probablemente, uno de los mejores monitores que hayan sido desarrollados en los últimos años y brinda información no solo de la saturación de la hemoglobina, sino también de la frecuencia y ritmo del pulso periférico.

La medida de la saturación de la hemoglobina (Hb) con el uso del pulsioxímetro se ha convertido en una práctica común en muchas áreas de la medicina clínica, incluyendo la anestesia, de la terapia respiratoria, del cuidado intensivo y de la investigación de pacientes con problemas cardiopulmonares.

El pulso oximétrico a menudo se considera la quinta muestra vital, después del ritmo cardíaco, la presión arterial, temperatura y frecuencia respiratoria. Sirve como herramienta importante para el asistente sanitario proporcionando control continuo de la saturación arterial del oxígeno del paciente críticamente enfermo ( $SaO_2$ ), calculando una estimación del  $SaO_2$  (conocido como  $SpO_2$  o SP indistintamente) mediante un algoritmo y visualizando una lectura de esta valoración.

Como se apuntó anteriormente, los principios de la oximetría están basados en la absorción espectro-fotométrica de longitudes de onda específicas de la luz por la sangre.

El modelo matemático para el oxímetro se basa en medir el tiempo en que la intensidad de la luz pasa a través del tejido fino como por ejemplo a través de la extremidad del dedo. El proceso de la señal se basa en este modelo simple de la ley de Beer-Lambert:

$$I(\lambda, t) = I_0(\lambda) e^{-\sum (\sigma_{Hb}(\lambda) s_{Hb}) z(t)}$$

donde:  $I$  es la intensidad de luz una vez a atravesado el medio,  $I_0$  es la intensidad de luz incidente,  $\lambda$  es la longitud de onda de la luz incidente,  $\sigma_{Hb}(\lambda)$  es la concentración de sustancia absorbente en el medio y  $s_{Hb}(\lambda)$  es el coeficiente de absorción de la longitud de onda dependiendo de la hemoglobina (Hb),  $z$  describe el espesor variable de las capas. El tejido fino se considera capas donde son, una capa constante de sangre venosa y arterial no pulsátil (del hueso etc.) y una capa pulsátil constante en espesor (sangre arterial solamente). Por tanto, la absorción del tejido fino viene determinado por la ley de Beer-Lambert.

Entre las características más importantes que encontramos sobre el oxímetro tenemos:

- ❖ Es un monitor no invasivo, ya que su sensor se coloca sobre la piel y no penetra al cuerpo.
- ❖ Nos da una lectura confiable de la saturación de oxígeno, y medida de la frecuencia del pulso cardíaco en cualquier paciente, desde neonatos a adultos.
- ❖ Es totalmente portátil y ligero.

- ❖ Utilizan batería interna recargable
- ❖ Posee alarmas ajustables tanto para el pulso cardíaco, como para la saturación de oxígeno.

## **3.2 Componentes funcionales**

El oxímetro emplea los siguientes componentes eléctricos para determinar los valores de  $SpO_2$  y la frecuencia cardiaca:

### **3.2.1 El sensor**

#### **3.2.1.1 Elementos que lo conforman**

La fuente luminosa: diodos emisores de luz (LED) roja e infrarroja.

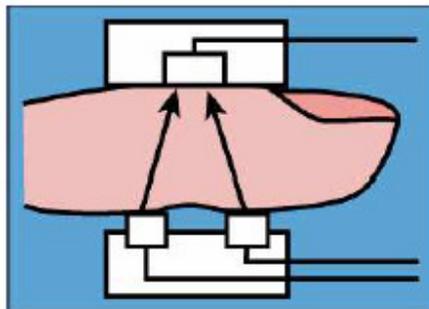
Fotodetector: dispositivo electrónico generalmente un fototransistor que produce una corriente eléctrica proporcional a la intensidad de la luz incidente.

#### **3.2.1.2 Funcionamiento del sensor**

El funcionamiento del sensor óptico está determinado porque la absorción de la sangre a una cierta longitud de onda es dependiente de la saturación de oxihemoglobina. Al recibir la cantidad de luz que no fue absorbida en un receptor diametralmente opuesto al emisor, se puede conocer la cantidad de luz absorbida por el lugar donde se encuentra el sensor, que es en la mayor parte absorbida por la sangre.

Aquí se presenta un problema, la sangre y por lo tanto la SpO<sub>2</sub> es pulsátil, entonces no se puede determinar si la variación de la medida es debido a una variación de la variable misma o debido a la pulsatilidad del flujo sanguíneo. Es por esta razón que estos sensores contienen en realidad dos emisores a dos longitudes de onda diferentes y un receptor como se puede ver en la figura 4, de manera que a una de las longitudes de onda la absorción es muy dependiente del SpO<sub>2</sub>, y a la otra longitud de onda la absorción teóricamente no varía con la SpO<sub>2</sub> pero si con la cantidad de sangre, es decir, varía con el pulso.

**Figura 4. Funcionamiento del sensor óptico**



Fuente: Saturometría de pulso, Universidad de Chile

De esta manera se tiene una señal que varía con el pulso y con el SpO<sub>2</sub>, y una señal que varía solamente con el pulso, o sea, se puede modular la primera con la segunda de manera de obtener una lectura permanente de la saturación de oxígeno.

Como se dijo anteriormente, se emiten dos longitudes de onda diferentes, una en torno del rojo en el espectro visible que es generalmente de 660nm que es la que varía con la SpO<sub>2</sub> y la otra en el rango del infrarrojo del espectro que es generalmente de 940nm.

Estas longitudes de onda pueden tener alguna pequeña variación dependiendo del fabricante como se muestra en la tabla I, pero son generalmente de este orden, el rojo está en el rango 630 – 660nm y el infrarrojo en el rango 800 – 940nm.

**Tabla I. Características del sensor según fabricantes**

Sensor	Longitud de onda	Potencia
Rojo	662nm	1.8mW
Infrarrojo	905 nm	2 mW (Nellcor, Datex, CSL, BCI)
Infrarrojo	940nm	1.5 mW (Ohmeda, Novametrix)

Fuente: Dolphin medical home page

En algunas ocasiones se utilizan LEDs láser como emisores debido a su precisión en el espectro de emisión, dado que a longitudes de onda cercanas a las utilizadas, hay otras sustancias en la sangre que cambian su emisión.

### **3.2.1.3 Tipos de sensor**

El sensor dactilar no es el único sensor que existe para realizar esta medida, pero si es el más popular, es más cómodo y según estudios es el más exacto.

Existen varias formas dependiendo de la empresa que lo fabrica.

En la figura 5 se muestra uno de éstos sensores.

**Figura 5. Sensor dactilar**



Fuente: Dolphin medical home page

Otro tipo de sensor, con el mismo principio de funcionamiento que el anterior es el que se coloca en el lóbulo de la oreja, como el que se ve en la siguiente figura.

**Figura 6. Sensor para el lóbulo de la oreja**



Fuente: BCI equipments

Otro sensor que se puede encontrar es uno que no funciona por emisión y absorción, sino que su principio de funcionamiento es por reflexión. Un sensor de este tipo se puede colocar por ejemplo en la frente como se ve en la figura 7.

**Figura 7 . Sensor por reflexión**



Fuente: BCI equipments

Además de estos tipos de sensores, también existen sensores especiales para infantes y neonatos, por ejemplo sensores para pie, sensores para los dedos del pie, sensores para la mano, que están diseñados para que se aseguren firmemente y así evitar medidas erróneas.

En el mercado también se pueden encontrar sensores desechables los cuales se utilizan sólo una vez, no se deben reutilizar; semi-desechables, se pueden reutilizar, pero con el mismo paciente y el envoltorio adhesivo deberá tirarse después de cada uso. Por último tenemos los reutilizables siendo los más comunes, ya que solo se necesita esterilizarlos antes de usarlos con otro paciente.

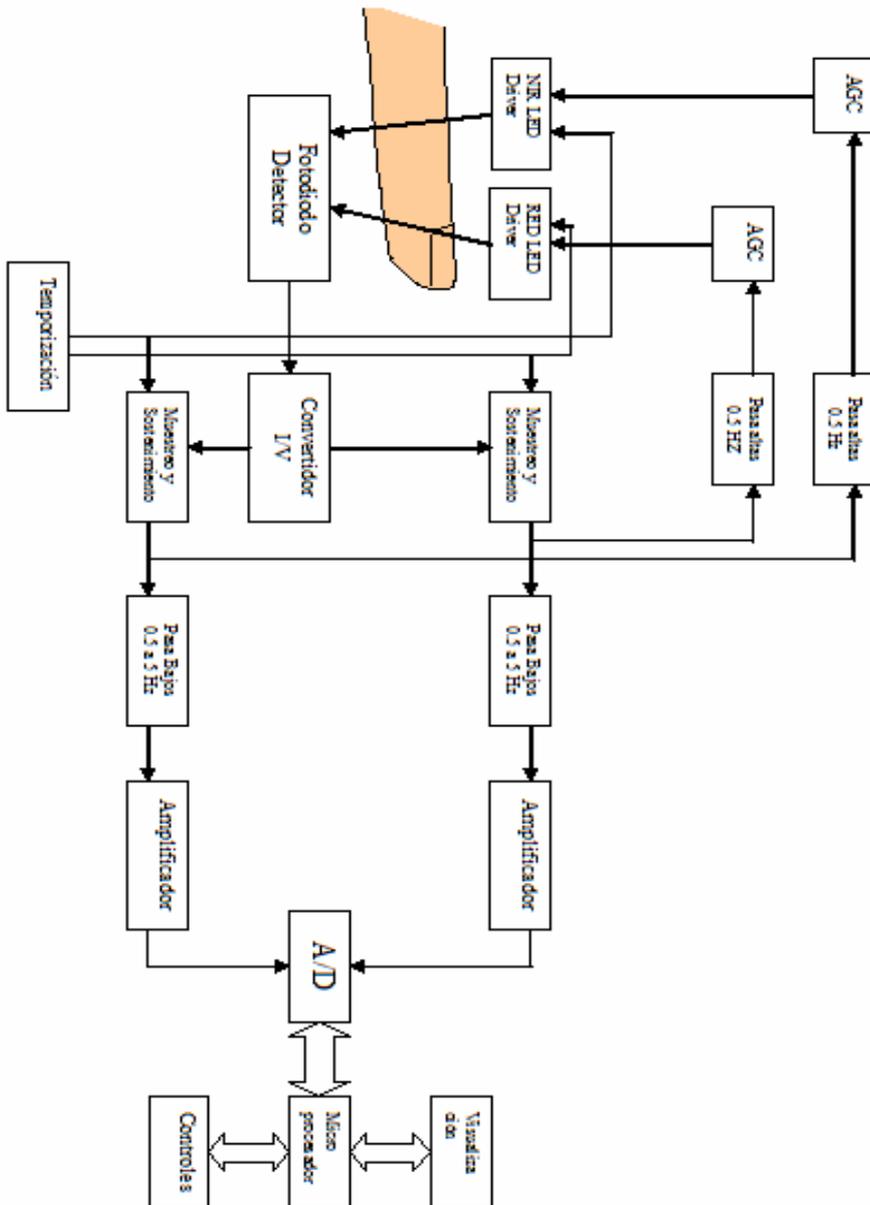
### **3.2.2 Procesamiento de señales del sensor**

En esta sección la señal analógica del sensor, se filtra y se amplifica, para luego convertirla en señal digital, que es el tipo de señal que el microprocesador necesita para interpretarla y compararla con la tabla guardada en la memoria y luego desplegarla.

### 3.2.2.1 Diagrama a bloques

En la figura 8 se muestra el diagrama básico de un oxímetro de pulso

Figura 8 . Diagrama a bloques del oxímetro de pulso



Fuente: Pulse oximetry J. F. Kelleher

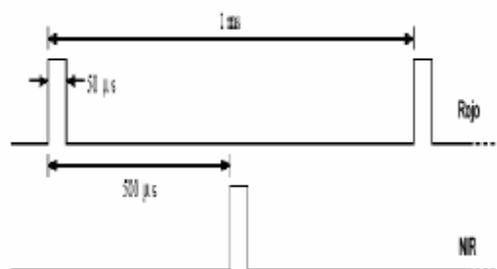
### 3.2.2.2 Funcionamiento del sistema

Para poder llevar a cabo las pruebas en un dedo de la mano o en lóbulo de la oreja de forma no invasiva se necesitan LEDs y fotodetectores miniatura. Los detectores deben ser de alta sensibilidad ya que deben ser capaces de registrar la débil emisión que logra atravesar por los tejidos.

Este problema puede solucionarse con LEDs de propósito especial que han sido fabricados con un sistema interno de lentes que permiten una alta intensidad lumínica de salida, adicionalmente han sido diseñados para operarse en esquemas de pulsos de corriente donde es posible manejar una potencia promedio elevada.

Si se aplican pulsos en ambas fuentes de luz, se puede emplear un único fotodetector. Dado que la frecuencia de 1 KHz es suficientemente mayor a la frecuencia del pulso arterial, se elige ésta, así como anchos de pulso de 50  $\mu$ s.

Figura 9 . Señales de temporización para excitación de los LED



Fuente: Pulse oximetry J. F. Kelleher

En este modo de operación se pueden obtener salidas de alta intensidad luminosa empleando corrientes de hasta 1 A debido al ciclo de trabajo reducido.

La luz transmitida que es detectada es posteriormente amplificada y convertida a voltaje empleando circuitos operacionales configurados como convertidor de corriente a voltaje.

En este punto en el circuito, la señal es alimentada hacia dos secciones idénticas, correspondientes a cada una de las longitudes de onda.

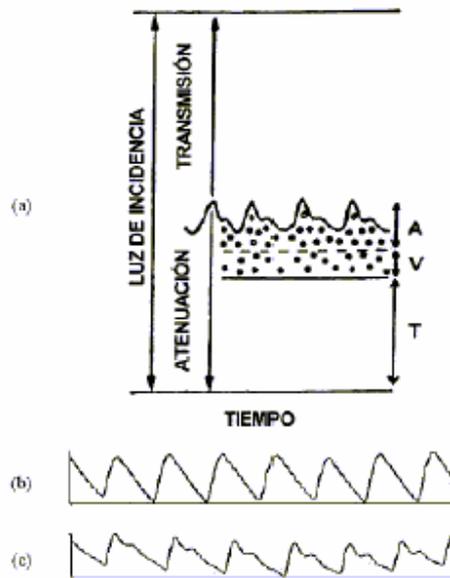
Debido a que la información se manifiesta en forma de pulso, se requiere un circuito sample and hold (muestreo y sostenimiento) para reconstruir las formas de onda en cada una de las longitudes.

Asimismo, los circuitos de temporización que controlan los circuitos de excitación de ambos LEDs pueden ser usados en la sección de circuitos sample and hold. La salida de estos circuitos son posteriormente conducidos a una sección de filtrado pasabanda diseñado para operar en las frecuencias de corte de 0.5 Hz a 5 Hz. Destinados para eliminar principalmente la componente de D.C. así como ruido de alta frecuencia.

Las señales resultantes representan por tanto la información cardiaca síncrona en las formas de onda que es posteriormente amplificada y convertida a formato digital para un posterior análisis en el microprocesador.

En la figura de abajo se puede apreciar la forma en que la luz pasa a través de los tejidos y fluidos, del lugar donde se coloca el sensor.

**Figura 10 . Incidencia de luz a través del dedo**



- a) Transmisión de la luz a través de un dedo cuando la atenuación es debida a la (A) sangre arterial, (V) sangre venosa y (T) tejidos.  
b) y c) muestran las señales pulsátiles típicas detectadas.

Fuente: Pulse oximetry Moyle

Se puede apreciar en el diagrama a bloques de la figura 8 que la salida de cada circuito de muestreo y retención, se dirige después hacia circuitos de filtrado pasa bajos. Esta es la primer etapa del circuito de control automático de ganancia (AGC), el cual ajusta la intensidad de la luz del LED correspondiente de tal forma que el nivel de D.C. permanece en el mismo valor (2V) sin considerar el grosor o las características de la piel del dedo del paciente.

Al utilizar un circuito AGC se consigue: primero, que la amplitud de la señal A. C. (la cual puede variar entre el 0.1% y el 2% del total de la señal) se

encuentra dentro de un rango predefinido y esto hace que el amplificador que sigue posterior al filtro tenga una señal estable la cual amplificar. Segundo, la componente D. C. de la luz transmitida tanto roja como infrarroja, pueden establecerse al mismo valor en cada caso (2V). Por lo tanto puede emplearse una tabla almacenada en memoria y ser accesada por el microprocesador convenientemente. Las señales resultantes representan por tanto la información cardíaca sincrónica en las formas de onda que es posteriormente amplificada y convertida a formato digital para un posterior análisis en el microprocesador.

### **3.2.3 Procesamiento de los datos en el microprocesador**

Con el programa del microprocesador, se igualan las señales en las longitudes de onda infrarrojas y rojas y se calcula la relación de transformación de la luz de roja-infrarroja, que se relaciona directamente con el SpO<sub>2</sub> mediante el pulso oximétrico. Cada segundo, se realizan aproximadamente 600 medidas individuales y mediante un algoritmo implementado en el interior del microprocesador, se compara con valores obtenidos anteriormente y después se usan fórmulas específicas a cada fabricante. El valor visualizado se obtiene realizando un promedio entre los 3-6 valores anteriores y actualizado entre 0.5 – 1.0 seg. Promediando se tiende a reducir los efectos de los instrumentos y de señales erróneas.

Por consiguiente el microprocesador se encarga del despliegue de las medidas del SpO<sub>2</sub> y del pulso cardíaco en la pantalla, además si los valores recibidos de los sensores están fuera de margen de los que tiene para comparación hace accionar la respectiva alarma.

En algunos oxímetros se utilizan 2 microprocesadores, uno que es el encargado del despliegue de datos en la pantalla, el accionamiento o no de las alarmas, rangos de trabajo y en algunos casos la gráfica plestimográfica, y otro es el que se encarga de administrar el puerto de salida serial del oxímetro.

### **3.2.3.1 Puerto de comunicaciones**

Se pueden transmitir datos en serie o analógicos a un dispositivo periférico por medio del puerto de transmisión de datos. Por ejemplo para conectar una impresora o conectar el oxímetro a una computadora. Los datos analógicos de saturación de oxígeno (0-100 %SpO<sub>2</sub>) y frecuencia de pulso (0-250 ppm) se transmiten en una escala de 0.0 a 1.0V. Los datos en serie de saturación de oxígeno (0-100 %SpO<sub>2</sub>) y frecuencia de pulso (0-250 ppm) se transmiten una vez por segundo en paquetes de datos.

2. Línea de salida en serie (RX)
3. Salida analógica de frecuencia de pulso
6. Salida analógica de nivel de saturación
7. Señal de tierra común
8. Línea de salida en serie (TX)

La transmisión de datos en serie se da de la siguiente manera:

- Los datos en serie se transmiten mediante un cable de transmisión en serie.
- La velocidad de transmisión es de 9600 baudios.
- El campo de datos es de 8 bits, un bit de parada, sin paridad.

- El paquete de datos consta de cuatro (4) bytes (octetos) enviados en el siguiente orden: el byte de estado, el byte de %SpO<sub>2</sub>, el byte de frecuencia de pulso y el byte de suma de verificación.

El byte de estado contiene señalizadores acerca del estado operacional de la unidad:

Bit 7: No se usa.

Bit 6: Indica que deja de detectarse el pulso que había sido detectado previamente.

Bit 5: Se ha detectado el pulso, comienza la monitorización normal.

Bit 4: Señalizador de error, indica que está ocurriendo un error.

Bit 3 a 0: Informa el número de bytes en cada paquete de datos.

El byte de %SpO<sub>2</sub> contiene el nivel actual de saturación de oxígeno en %SpO<sub>2</sub> y está en formato binario de 8 bits.

El byte de frecuencia de pulso contiene la frecuencia de pulso actual en pulsaciones por minuto y está en formato binario de 8 bits.

El byte de suma de verificación es el complemento de los ocho (8) bits inferiores en la suma de los bytes de estado, SpO<sub>2</sub>, y frecuencia de pulso, más uno.

Los datos analógicos se transmiten con un cable de transmisión analógica.

Las salidas analógicas son:

Escala 0% 0.000V

Escala 50% 0.500V

Escala 100% 1.000V



## **4. SITUACIÓN ACTUAL DEL EQUIPO**

Para realizar un plan de mantenimiento eficiente, es necesario conocer a fondo el estado de los equipos sobre los cuales se va a implementar el programa, para lo que se solicitará información al personal del hospital San Juan de Dios que es el encargado de utilizar los oxímetros.

Al hacer la encuesta se debe hacer referencia a la razón del cese de funcionamiento de equipos, si hay equipos obsoletos, o hay equipos que han sido descartados por no conocer su funcionamiento a totalidad.

### **4.1 Diagnóstico del equipo de oxímetros**

Como era necesario tener información real del estado de dichos equipos, se hizo una revisión de la situación en que se encuentra actualmente el equipo, en el departamento de pediatría del Hospital General San Juan de Dios.

Entre las diferentes áreas del departamento de pediatría se tienen 42 oxímetros, de los cuales no todos están funcionando actualmente, por lo que no se dan abasto los que se encuentran en funcionamiento ya que solo en neonatología se ha llegado a tener hasta 45 niños al día, y hay más pacientes de el área de cuidados intensivos, y post operatoria, en las cuales también se necesitan este tipo de monitores.

#### 4.1.1 Registro de oxímetros

Para conocer el número de oxímetros que hay registrados en el departamento de pediatría, se hizo necesario consultar al departamento de inventario del Hospital General San Juan de Dios.

A continuación se presenta el inventario más reciente que se tiene:

**Tabla II. Inventario de oxímetros en pediatría del Hospital San Juan de Dios**

<b>No.</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>MODELO</b>	<b>SERIE</b>	<b>MARCA</b>
1	Oxímetro	71200A1	470349542	BCI
2	Oxímetro	71200A1	470349562	BCI
3	Oxímetro	71200A1	180358270	BCI
4	Oxímetro	71200A1	390415008	BCI
5	Oxímetro	71200A1	390415063	BCI
6	Oxímetro	71200A1	390415064	BCI
7	Oxímetro	71200A1	390415065	BCI
8	Oxímetro	71200A1	390415066	BCI
9	Oxímetro	71200A1	390415067	BCI
10	Oxímetro	71200A1	390415068	BCI
11	Oxímetro	71200A1	390415069	BCI
12	Oxímetro	71200A1	390415070	BCI
13	Oxímetro	71200A1	390415071	BCI
14	Oxímetro	71200A1	390415072	BCI
15	Oxímetro	71200A1	390415073	BCI
16	Oxímetro	71200A1	390415074	BCI
17	Oxímetro	71200A1	390415075	BCI
18	Oxímetro	71200A1	390415076	BCI
19	Oxímetro	71200A1	390415077	BCI
20	Oxímetro	71200A1	390415078	BCI
21	Oxímetro	71200A1	390415079	BCI

Continúa

22	Oxímetro	71200A1	390415080	BCI
23	Oxímetro	71200A1	390415081	BCI
24	Oxímetro	71200A1	390415082	BCI
25	Oxímetro	71200A1	390415083	BCI
26	Oxímetro	71200A1	390415090	BCI
27	Oxímetro	71200A1	390415093	BCI
28	Oxímetro	71200A1	390415095	BCI
29	Oxímetro	71200A1	390415100	BCI
30	Oxímetro	N-180	20218238	BCI
31	Oxímetro	3800	FBXH00302	Datex Ohmeda
32	Oxímetro	3800	FBXH00303	Datex Ohmeda
33	Oxímetro	3800	FBXH00309	Datex Ohmeda
34	Oxímetro	3800	FBXH00310	Datex Ohmeda
35	Oxímetro	3800	FBXH00311	Datex Ohmeda
36	Oxímetro	3800	FBXH00312	Datex Ohmeda
37	Oxímetro	3800	FBXH00313	Datex Ohmeda
38	Oxímetro	3800	FBXD02960	Datex Ohmeda
39	Oxímetro	CSI	504DX	SYSTEMS INC
40	Oxímetro	504DX	401001508DX	CRITICARE
41	Oxímetro	395	600846550	NELLCOR
42	Oxímetro	N-100C	100-01679061C	NELLCOR

Fuente: Departamento de Pediatría Hospital San Juan de Dios

Con este inventario se hizo el chequeo a los equipos que están funcionando y los que están sin utilizar, las fallas que presentan, los elementos que les hacen falta, para luego llegar a un diagnóstico de los que aún se puede reparar y los que se deben descartar totalmente.

A continuación se presenta una tabla en la cual se muestra el estado de cada oxímetro que hay en el departamento de pediatría, con algunos de los elementos que les hacen falta.

**Tabla III. Estado de los oxímetros en pediatría del  
Hospital San Juan de Dios**

<b>No.</b>	<b>SERIE</b>	<b>MARCA</b>	<b>ESTADO</b>	<b>NECESITA</b>
1	470349542	BCI	funciona	
2	470349562	BCI	funciona	
3	180358270	BCI	funciona	
4	390415008	BCI	funciona	
5	390415063	BCI	rescatable	sensor, fuente
6	390415064	BCI	descartado	
7	390415065	BCI	descartado	
8	390415066	BCI	funciona	
9	390415067	BCI	rescatable	conector, fuente
10	390415068	BCI	rescatable	cambiar batería
11	390415069	BCI	funciona	
12	390415070	BCI	funciona	
13	390415071	BCI	rescatable	sensor, fuente
14	390415072	BCI	rescatable	conector, sensor
15	390415073	BCI	descartado	
16	390415074	BCI	funciona	
17	390415075	BCI	descartado	
18	390415076	BCI	rescatable	reparar fuente
19	390415077	BCI	descartado	
20	390415078	BCI	funciona	
21	390415079	BCI	descartado	
22	390415080	BCI	descartado	
23	390415081	BCI	descartado	
24	390415082	BCI	rescatable	conector, sensor
25	390415083	BCI	funciona	
26	390415090	BCI	rescatable	cambiar batería
27	390415093	BCI	rescatable	bocina alarma
28	390415095	BCI	descartado	
29	390415100	BCI	funciona	
30	20218238	BCI	funciona	
31	FBXH00302	Datex	funciona	
32	FBXH00303	Datex	funciona	
33	FBXH00309	Datex	rescatable	reparar fuente
34	FBXH00310	Datex	funciona	
35	FBXH00311	Datex	funciona	

Continúa

36	FBXH00312	Datex	funciona	
37	FBXH00313	Datex	rescatable	cable sensor
38	FBXD02960	Datex	rescatable	reparar conector
39	504DX	SYSTEMS	descartado	
40	401001508DX	CRITICARE	funciona	
41	600846550	NELLCOR	funciona	
42	100-01679061C	NELLCOR	funciona	

Fuente: Departamento de Pediatría Hospital San Juan de Dios

#### 4.1.2 Condiciones de los oxímetros

El porcentaje de oxímetros que están funcionando actualmente en pediatría del Hospital General San Juan de Dios, no es suficiente para el gran flujo de pacientes que se reciben, por lo tanto es necesario que se realice su respectivo mantenimiento, para que así, los equipos que están funcionando puedan soportar el uso intensivo que reciben, ya que al terminar con un paciente inmediatamente se usan para otro, además se deben reparar los que están en mal estado.

Ya que el oxímetro es un equipo esencial para el monitoreo de signos vitales importantes en los niños, se hace necesario que muchas veces esté trabajando las 24 horas del día, por lo que al tener algunos oxímetros extras se puede aprovechar que al descansar los que están trabajando se les pueda hacer su mantenimiento.

Varios oxímetros se encuentran en mal estado, por lo que se hace necesario analizar las causas más frecuentes de falla para poder repararlos y poder atender a todos los pacientes. El mantenimiento correctivo se hace

necesario por la mala manipulación del equipo o por falta de mantenimiento preventivo.

#### **4.1.2.1 Oxímetros en mal estado**

Al presentar cualquier falla el oxímetro ya no se utiliza. Las razones por las cuales puede fallar pueden ser diversas, entre ellas tenemos el tiempo de vida útil del mismo, ya que al estar encendidos las 24 horas del día (aunque están diseñados para este tipo de trabajo) su promedio de utilización se acorta, pero por lo general es por mala manipulación del sensor o por la falta de limpieza en el oxímetro por parte del usuario.

#### **4.1.3 Tiempo de uso diario del equipo**

El tiempo que un oxímetro presta servicio al paciente es indefinido. Las condiciones del paciente son críticas y necesita ser monitoreado continuamente.

Al estar encendido por días consecutivos este tipo de equipo, se deteriora, y esto sucede con más frecuencia cuando al equipo no se le da el debido mantenimiento.

### **4.2 Personal que lo utiliza**

El personal que utiliza el equipo en forma operativa, son la enfermeras, deben estar al cuidado constante de los pacientes, para ello se necesita que

tengan el debido conocimiento del equipo. Deben pasar todo el tiempo al cuidado del paciente y equipo, esto es se debe vigilar las 24 horas del día.

Las jornadas de trabajo para las enfermeras en el Hospital General San Juan de Dios en pediatría son rotativos. El matutino inicia a las 7:00 y termina a las 13:30 horas, el vespertino que comienza a las 13:00 y termina a las 19:30 horas y el nocturno entran a las 19:00 y salen a las 7:00 horas. Están organizados para tener un cuidado constante de los pacientes, y tener control del buen funcionamiento del equipo.

#### **4.3 Tipo de mantenimiento**

Hasta hace 18 meses se prestaba mantenimiento preventivo y correctivo de los oxímetros por parte de Casa Médica, ésta lo realizada en un área del departamento de mantenimiento.

Pero por el alto coste de los trabajos se dejó fuera este procedimiento, y desde entonces hasta el presente ya no se ha realizado un programa de mantenimiento como tal para los oxímetros, ya que ocasionalmente se ha tratado de dar algún mantenimiento correctivo a pocos aparatos por parte de los técnicos de electromedicina del hospital pero por falta de conocimientos sobre el funcionamiento del aparato se ha complicado la situación.

Por lo que se necesita urgentemente implementar un programa de mantenimiento para los oxímetros.



## **5. PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE OXÍMETROS**

En éste capítulo se desarrollan las técnicas y herramientas necesarias de ingeniería para planificar y luego implementar satisfactoriamente el programa de mantenimiento preventivo y calibración de los oxímetros de pulso utilizados en el departamento de pediatría del Hospital San Juan de Dios.

### **5.1 Mantenimiento preventivo**

Podemos definirlo como la programación de una serie de inspecciones (de funcionamiento y de seguridad), ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan y no a una demanda del operario o usuario, su propósito es prever las fallas manteniendo los en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno. Con una buena organización del mantenimiento preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, además se llega a conocer puntos débiles de los equipos. Sin excluir el mantenimiento que a diario debe realizar el operador del equipo (limpieza de sensores, limpieza externa, procedimientos de autocalibración, etc.).

Entre los beneficios alcanzados al desarrollar un programa de mantenimiento preventivo, por algún período de tiempo se tiene:

- ❖ Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento, esto es de suma importancia para el servicio que presta un Hospital.
- ❖ Disminución del tiempo muerto, reduce el tiempo de fuera de uso de equipos.
- ❖ Mayor duración, los equipos a instalaciones tendrán una vida útil mayor que la que tendrían sin mantenimiento preventivo.
- ❖ Menor costo de reparación.
- ❖ Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.

### **5.1.1 Frecuencia de servicio**

La decisión de incluir un equipo en un programa de mantenimiento preventivo planificado, es una decisión delicada, y de suma importancia para el bienestar del paciente y de la vida útil del equipo.

Rutinas con frecuencia demasiado alta podrían:

- ❖ Decrementar la vida útil del equipo
- ❖ No ser efectivas económicamente.

Rutinas con frecuencia demasiado pequeña, podrían afectar:

- a) La confiabilidad del equipo
- b) La precisión del mismo.
- c) La seguridad que este brinda al operador y al paciente.

Un dispositivo debe estar sujeto a inspecciones, mantenimiento o verificación de su funcionamiento, solo si existe una buena razón que la sustente.

Entre estas están:

- ❖ Reducción del riesgo de dañar pacientes, operadores o visitantes.
- ❖ Minimizar el tiempo fuera de funcionamiento.
- ❖ Evitar reparaciones excesivamente costosas al proveer mantenimiento a intervalos periódicos.
- ❖ Producir un ahorro al prolongar la vida útil de un equipo, de modo que el gasto en mantenimiento durante su vida útil sea menor que la adquisición de uno nuevo.
- ❖ Corregir problemas de operación menores, antes que ellos resulten en fallas mayores del sistema o resultados imprecisos.
- ❖ Cumplir con códigos, estándares, y regulaciones, o las recomendaciones rigurosas de los fabricantes.

Así para el oxímetro tomaremos rutinas de mantenimiento de diferentes frecuencias, unas de frecuencia alta, para limpieza principalmente, y otras de frecuencia baja para mantenimiento interno e inspecciones minuciosas.

## **5.1.2 Rutinas de mantenimiento**

Debido a la importancia del mantenimiento preventivo en la prolongación de la vida útil de los equipos, y en el mantenimiento de su funcionamiento adecuado, se deben estructurar minuciosamente los pasos que debe poseer una rutina de mantenimiento. Estos pasos son los que constituyen la base de las rutinas para el equipo.

Según el tiempo que transcurra será diferente la rutina que se realizará para el mantenimiento del oxímetro, mientras el lapso es mayor, así será profundo el mantenimiento. La rutina mas pronta en darle mantenimiento al oxímetro es la diaria, continuando con la mensual y luego la semestral.

### **5.1.2.1 Rutina de mantenimiento diaria de oxímetros**

Esta rutina será mas bien una rutina de preparación y limpieza. Realizada por el operador del equipo (enfermera).

Descripción

- ❖ Verificación de la limpieza del equipo en general.
- ❖ Inspección de accesorios, indicadores de funcionamiento.
- ❖ Verificación de parámetros de funcionamiento, alarmas, etc.

**Tabla IV. Materiales y herramientas requeridas para realizar la rutina de mantenimiento diaria de oxímetros de pulso**

<b>Tiempo horas-hombre (hrs)</b>	<b>Materiales</b>	<b>Herramientas</b>
1) 1/6 hr	1) trozo de tela suave o wype	1) Manual del usuario
2) Operador del equipo	2) agua y jabón líquido	

Fuente: Protocolo de mantenimiento preventivo. Dirección de tecnología Nicaragua.

#### Procedimiento

- ❖ Apague el equipo, luego desconéctelo de la red eléctrica, mientras se hace la limpieza.
- ❖ Inspeccione la limpieza en general del oxímetro. Limpie toda la superficie exterior del oxímetro, frotando el trozo de tela o wype, humedecido previamente con agua y jabón líquido, así como también el exterior del sensor y el cable, sin halarlo bruscamente. Tener cuidado de que la tela esté solamente húmeda para no escurrir agua en el interior del equipo.
- ❖ Verifique que los cables tanto de suministro de energía, como el del sensor, estén bien colocados.
- ❖ Conecte nuevamente el oxímetro, enciéndalo, verifique el buen funcionamiento del equipo incluyendo parámetros establecidos del sensor y alarmas, hacer correcciones si se necesita.

### 5.1.2.2 Rutina de mantenimiento mensual de oxímetros

#### Descripción

- ❖ Inspección en la limpieza y desinfección general del oxímetro cada 30 días, incluyendo los cables.
- ❖ Limpieza profunda del sensor.
- ❖ Inspección de los cables y sus respectivos conectores.

**Tabla V. Materiales y herramientas requeridas para realizar la rutina de mantenimiento mensual de oxímetros de pulso.**

Tiempo horas-hombre (hrs)	Materiales	Herramientas
1) 1/4 hr	1) trozo de tela suave o wype	1) Manual del usuario
2) técnico en equipos médicos	2) espuma limpiadora	
	3) alcohol isopropílico al 70%	
	4) limpiador de contactos eléctricos	

Fuente: Protocolo de mantenimiento preventivo. Dirección de tecnología Nicaragua.

#### Procedimiento

- ❖ Al iniciar cualquier servicio de mantenimiento, es de suma importancia desconectar el equipo de la red eléctrica por seguridad.
- ❖ Observar las condiciones del ambiente en las que se encuentra el equipo. Los aspectos que se recomienda evaluar son: humedad, presencia de polvo,

seguridad de la instalación y temperatura. Cualquier anomalía o no cumplimiento de estas condiciones con lo establecido, debe ser notificado como observación en la rutina, o inmediatamente dependiendo de la situación, y siguiendo el procedimiento especificado.

**Humedad:** La humedad del ambiente en el que trabaja el equipo, no debe ser mayor a la que especifica el fabricante. Si no se cuenta con esta información, o con los medios adecuados de medición, se puede evaluar por sus efectos, por ejemplo oxidación de la carcasa, levantamiento de pintura de paredes o del equipo, etc.

**Polvo:** Los equipos electrónicos, se ven afectados en su funcionamiento y en la duración de su vida útil, por la presencia de polvo en su sistema. Revise que no haya una presencia excesiva de polvo en el ambiente, visualizando el equipo y los alrededores del mismo.

**Seguridad de la instalación:** Una instalación de un equipo insegura, ofrece un peligro potencial tanto al equipo mismo, como a las personas. Revise que la instalación del equipo ofrezca seguridad, ya sea que esté montado sobre una superficie, instalado en la pared, o sobre una superficie móvil. Además verifique que la instalación eléctrica a la que éste está conectado, se encuentre polarizada, protegida con medios de desconexión apropiados, y que no permita la producción de cortocircuitos o falsos contactos por movimientos mecánicos normales. Esto implicará el tomacorriente, y subtablero de protección y distribución más cercano.

**Temperatura:** La luz solar directa o la temperatura excesiva pueden dañar el equipo, o alterar su funcionamiento. Verifique cual es la temperatura permitida por el fabricante, si este dato no está disponible, corrobore que el

equipo no esté en exposición directa al sol y que la temperatura no sea mayor a la del ambiente.

- ❖ La limpieza del oxímetro se llevará a cabo con la espuma limpiadora. Rocíe de forma uniforme la espuma sobre la superficie del equipo, cuidando que no penetre a las tarjetas electrónicas, espere un minuto antes de retirar con el trapo o el wype la espuma. Para limpiar los cables, tanto el del sensor como el de suministro de energía, rocíe espuma en el trapo o wipe y luego frote los cables, teniendo cuidado de no halar demasiado fuerte. También puede frotar la parte externa del sensor.
- ❖ Para la limpieza del sensor, no lo debe sumergir en un líquido. No debe utilizar productos de limpieza abrasivos o cáusticos en los sensores. Como ayuda para limpiar el sensor, retire el muelle de la parte inferior del sensor (véase figura 11, dibujo superior) y muévalo hacia atrás como se muestra en el dibujo inferior. Para que no se dañe el muelle, debe desengancharlo de la parte inferior antes de abrir el sensor hasta alcanzar un ángulo de 90°.

**Figura 11 . Limpieza del sensor del oxímetro de pulso**



Fuente: Manual de instrucciones de uso BCI

- ❖ Limpie el transmisor y el detector del sensor con una tela suave o wype impregnado con alcohol isopropílico. Debe asegurarse de retirar todos los residuos del esparadrapo. No debe utilizar productos líquidos ni sprays en el sensor. Debe dejar que el sensor se seque antes de volver a utilizarlo. Proceda a la inversa de lo mostrado en la figura para volver a colocar el muelle.
  
- ❖ Examinar o reconocer atentamente el equipo, partes o accesorios que se encuentran a la vista, sin necesidad de quitar partes, tapas, etc., tales como cordón eléctrico, conector de alimentación, para detectar signos de corrosión, impactos físicos, desgastes, vibración, sobrecalentamiento, fatiga, roturas, partes faltantes, o cualquier signo que obligue a sustituir las partes afectadas o a tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo o correctivo. Esta actividad podría conllevar de ser necesario, la puesta en funcionamiento de un equipo o de una parte de éste, para comprobar los signos mencionados.

Revisaremos el aspecto físico general del equipo y sus componentes, para detectar posibles impactos físicos, maltratos, corrosión en la carcasa o levantamiento de pintura, cualquier otro daño físico.

Revisión de componentes eléctricos. Esto incluye: Cordón de alimentación: revisar que este se encuentre íntegro, sin dobleces ni roturas, o cualquier signo de deterioro de aislamiento, el toma deberá ser adecuado al tipo y potencia demandada por el equipo y debe hacer buen contacto con el toma de pared. Cables para paciente: revisar que se encuentren íntegros, sin dobleces ni roturas.

- ❖ Verificar la carga de la batería interna del oxímetro.
- ❖ Rociar el limpiador de contactos en los conectores, tanto del sensor del oxímetro de pulso como en el cable de corriente eléctrica.
- ❖ Hacer una nueva limpieza con una pieza de tela suave o wype impregnado de alcohol isopropílico.

### **5.1.2.3 Rutina de mantenimiento semestral de oxímetros**

#### Descripción

Realizar las actividades programadas para el mantenimiento mensual del oxímetro.

- ❖ Inspección del sistema de alimentación principal.
- ❖ Inspección del estado de limpieza interna, polvo, humedad, en las tarjetas electrónicas.
- ❖ Inspección interna, sobrecalentamientos, soldaduras rotas, soldaduras frías.
- ❖ Calibración de alarmas.
- ❖ Pruebas funcionales.
- ❖ Revisión de seguridad eléctrica.

**Tabla VI. Materiales y herramientas requeridas para realizar la rutina de mantenimiento semestral de oxímetros de pulso**

<b>Tiempo horas-hombre (hrs)</b>	<b>Materiales</b>	<b>Herramientas</b>
1) 1 hr	1) trozo de tela suave o wype	1) Manual del usuario
2) técnico en equipos médicos	2) espuma limpiadora	2) Juego de desatornilladores mixtos
	3) alcohol isopropílico al 70%	3) Equipo completo de electricidad y electrónica
	4) limpiador de contactos eléctricos	4) Multímetro diferentes escalas.
	5) aire comprimido	5) Osciloscopio
	6) cepillo de dientes pequeño	6) Simulador de pulso

Fuente: Protocolo de mantenimiento preventivo. Dirección de tecnología Nicaragua.

### **Procedimiento**

- ❖ Proceda a realizar una inspección en el cable de tomacorriente de energía, es importante que se encuentre íntegro sin dobleces ni roturas. La clavija deberá tener una conexión de tierra física y deberá tener un buen contacto con el tomacorriente de la pared. Se deben hacer mediciones para confirmar que la conexión a tierra esté entre los valores especificados para una buena tierra física. Si tiene un fusible externo deberá revisarse si se encuentra en buenas condiciones.

- ❖ Eliminar cualquier vestigio de suciedad, desechos, polvo, moho, hongos, etc., en las tarjetas electrónicas y en la parte interna.

Para esto debemos destapar la cubierta del oxímetro, primero eliminamos todo el polvo que se encuentre dentro de la cubierta y en las tarjetas, usando el aire comprimido.

Ya con toda la superficie libre de polvo, agitamos muy bien el limpia contactos y lo roseamos uniformemente sobre las tarjetas a una distancia aproximada de 15 centímetros. Luego con el cepillo de dientes procedemos a remover los residuos que no se hayan eliminado, volvemos a rosear limpia contactos, luego usamos nuevamente el aire comprimido para secar la placa, también debemos limpiar los conectores de la tarjeta.

Con alcohol isopropílico y un trozo de tela podemos limpiar la parte interna de la cubierta.

- ❖ Examinar o reconocer atentamente las partes internas del equipo y sus componentes, para detectar signos de corrosión, impactos físicos, desgastes, vibración, sobrecalentamiento, fatiga, roturas, partes faltantes, o cualquier signo que obligue a sustituir las partes afectadas o a tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo o correctivo.

Esta actividad podría conllevar de ser necesario, la puesta en funcionamiento del equipo.

Se debe revisar los componentes eléctricos, para determinar falta o deterioro del aislamiento, de los cables internos, conectores etc., que no

hayan sido verificados en la revisión externa del equipo, revisando cuando sea necesario, el adecuado funcionamiento de estos con el multímetro.

Uno de los aspectos más importantes es el chequeo de componentes electrónicos, tanto tarjetas como circuitos integrados, inspeccionando de manera visual y táctil si es necesario, el posible sobrecalentamiento de estos.

- ❖ Proceda a verificar si las alarmas están entre los parámetros especificados, de no estarlo se procederá a cambiar los parámetros, del mismo modo hay que verificar si el sensor conectado está de acuerdo con las especificaciones de peso y edad de los niños a los cuales se está monitoreando con este oxímetro, de no ser así debemos cambiar inmediatamente el sensor por el adecuado, poner en funcionamiento el equipo y realizar la medición de los parámetros correspondientes.
- ❖ Chequear el funcionamiento completo del oxímetro, haciendo pruebas con el sensor desconectado, conectado sin paciente, conectado con paciente, y estimar las diferencias que se obtienen, chequear disparos de alarmas. Además de estos chequeos, de una forma más segura se pueden hacer las pruebas con un simulador, el problema es el coste adicional para el hospital, pero con este se puede tener mas confianza de las lectoras que se realizan, el simulador nos da ciertos valores estandarizados de SpO2 y de pulso cardíaco, para hacer la comparación con la medida desplegada en la pantalla.
- ❖ Hacer las pruebas de seguridad eléctrica que dependerán de los estándares para cada marca de oxímetro.

### **5.1.3 Personal a realizarlo**

El personal que realice el mantenimiento dependerá de la rutina que se realice, puede ser el operador del equipo mismo o un técnico de equipo médico.

#### **5.1.3.1 Operador del equipo**

Los operadores de los equipos son el grupo de personas que utilizan directamente los equipos y que son en forma directa los responsables del cuidado de los equipos. a este grupo se le atribuyen los siguientes roles:

- ❖ Revisar y limpiar diariamente los equipos.
  
- ❖ Conocer la buena técnica en la operación de los equipos, tal como: la conexión y desconexión del equipo, condiciones normales de trabajo (temperatura, humedad, etc.), chequeo de las conexiones eléctricas.
  
- ❖ Notificar al director del establecimiento o jefe inmediato de cualquier falla detectada en los equipos.

El operador del equipo, que en nuestro caso, es la enfermera que se encuentre de turno en ese momento, es la que se encarga del mantenimiento diario, y éste incluye únicamente la limpieza y preparación del oxímetro para que esté listo cuando se necesite, no necesita grandes conocimientos técnicos, solamente se le capacitará sobre los cuidados que debe guardar para no dañar el equipo, además deberá informar al departamento técnico de cualquier anomalía que el equipo presente, para que así se realice un chequeo mayor por un técnico de equipo médico.

### **5.1.3.2 Técnico de equipo médico**

Tanto el mantenimiento mensual como el semestral, será realizado por un técnico de equipo médico capacitado.

Deberá ser como mínimo un técnico en electrónica graduado, al cual se le capacitará para darle los conocimientos necesarios para que realice todos los procedimientos antes mencionados.

## **5.2 Control de mantenimiento**

Es necesario llevar un control de la ejecución o no de las rutinas de mantenimiento respectivas y las fechas que se realizaron por equipo. Para ello es indispensable que el técnico de mantenimiento tome nota de todos los procesos que realizó para luego archivarlos en una base de datos.

Para tomar nota de los procesos realizados el técnico deberá usar los formatos de control de mantenimiento.

### **5.2.1 Formatos para el control de mantenimiento**

Los formatos de control de mantenimiento son hojas impresas para que el técnico se guíe sobre los procesos que debe efectuar, para nuestro plan de mantenimiento usaremos varios formatos.

### **5.2.1.1 Formato de rutina de mantenimiento preventivo**

Es la guía para la ejecución de acciones técnicas de los procedimientos propios del mantenimiento preventivo sobre los oxímetros de pulso (ver anexo1), con el objeto de obtener la máxima eficiencia y producción del equipamiento existente.

El técnico de mantenimiento, es el encargado de ejecutarla y de registrar la información necesaria en el formato. Las partes que componen el formato son:

#### **Encabezado**

Solicita la siguiente información:

- ❖ Nombre del Hospital
  
- ❖ Marca
  
- ❖ Modelo
  
- ❖ Número de serie
  
- ❖ Servicio en que se encuentran
  
- ❖ Ambiente
  
- ❖ N° de inventario técnico

- ❖ Número de Identificación

### **Registro de pasos de rutina**

Este contiene lo siguiente:

- ❖ Frecuencia con que se ejecuta la rutina.
- ❖ Pasos de la operación de mantenimiento.
- ❖ Casillas, que deben ser marcadas con un cheque, cada vez que se ejecutan los pasos del mantenimiento. Cada paso contiene varias casillas, es decir que cada formato está diseñado para utilizarse varias veces.

### **Registro de datos**

Se deberá detallar la siguiente información:

- ❖ Fecha de realización
- ❖ Código del técnico
- ❖ Firma del técnico
- ❖ Tiempo de ejecución, el cual comprende desde el momento en que se inicia la ejecución de la rutina, hasta que se termina de ejecutar la misma (incluyendo la prueba de seguridad eléctrica). Para efectos de programación, se deben considerar también los tiempos de preparación

de material, herramienta y repuestos necesarios para la ejecución de la rutina.

### **Material**

Cada rutina tiene incorporado una lista de materiales gastables, repuestos, herramientas y equipos, mínimos que un técnico necesita para realizarla. Esto no limita que para casos especiales se necesiten otros materiales.

### **Observaciones**

En el reverso del formato de cada rutina se incluye un espacio para que cada vez que sea ejecutada la rutina, se escriban las observaciones pertinentes sobre el estado y funcionamiento del equipo.

### **Prueba de seguridad eléctrica**

Cada paso incluye el valor permitido para evitar problemas eléctricos.

#### **5.2.1.2 Formato de solicitud de mantenimiento**

Es un documento básico diseñado para el control y programación de las actividades del departamento de mantenimiento (ver anexo 2), así como para su manejo técnico y administrativo.

El jefe del servicio solicitante la elabora y la hace llegar al jefe de mantenimiento, el cual la revisa y decide si amerita una orden de trabajo.

### **5.2.1.3 Formato de orden de trabajo**

Es el documento a través del cual se lleva control del trabajo de mantenimiento y se contabiliza los costos ocasionados por el mismo (ver anexo 3). El jefe de mantenimiento la elabora a partir de una solicitud de trabajo recibida, o de las planificaciones realizadas. El encargado de ejecutarla es el técnico designado, quien es responsable de registrar toda información que sea requerida en dicha orden.

### **5.2.1.4 Historial de fallas y averías**

Es el registro de la recopilación, en forma permanente, de la información básica y específica de cada acción de mantenimiento y/o reparación realizada sobre los oxímetros. Mediante este registro se puede determinar y/o decidir con el transcurso del tiempo, el estado físico-funcional del equipo, necesidad de descarte o reemplazo, análisis de costo/beneficio, etc (ver anexo 4).

### **5.2.1.5 Control anual de mantenimiento preventivo**

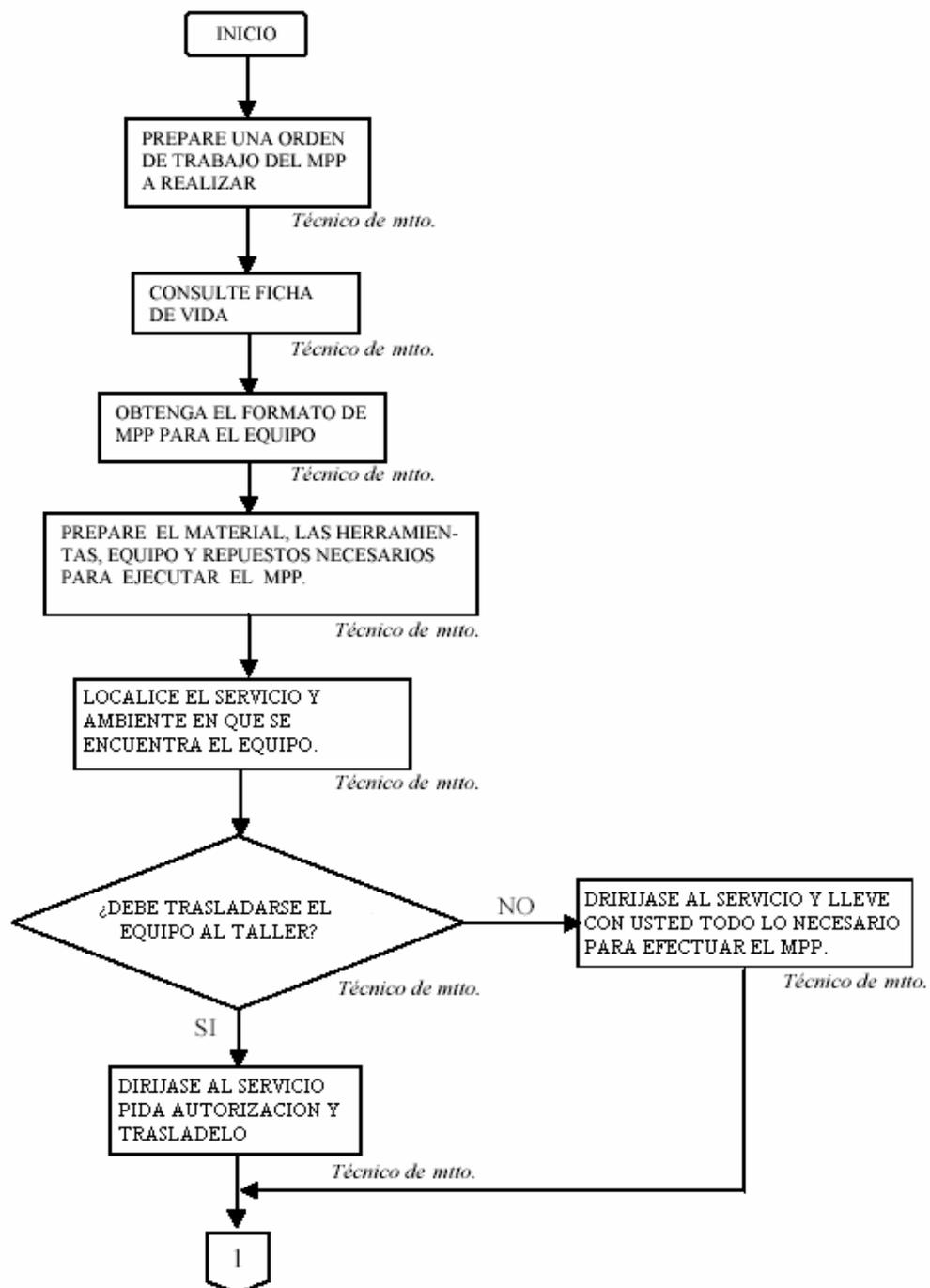
Es la planificación y registro de las actividades del mantenimiento preventivo en la que se detallan frecuencia y tiempos para su ejecución (ver anexo 5).

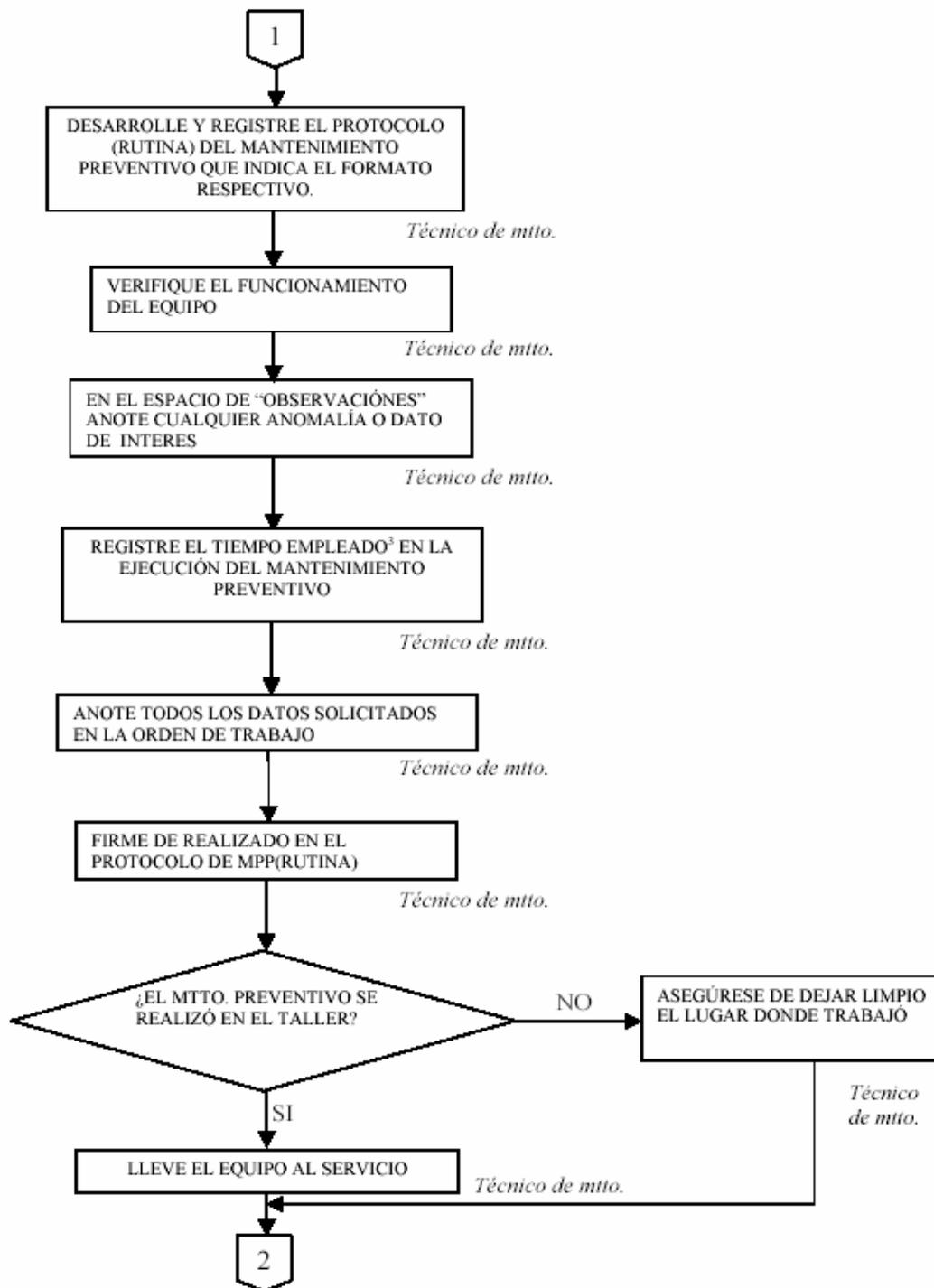
## **5.2.2 Proceso de utilización de las rutinas de mantenimiento**

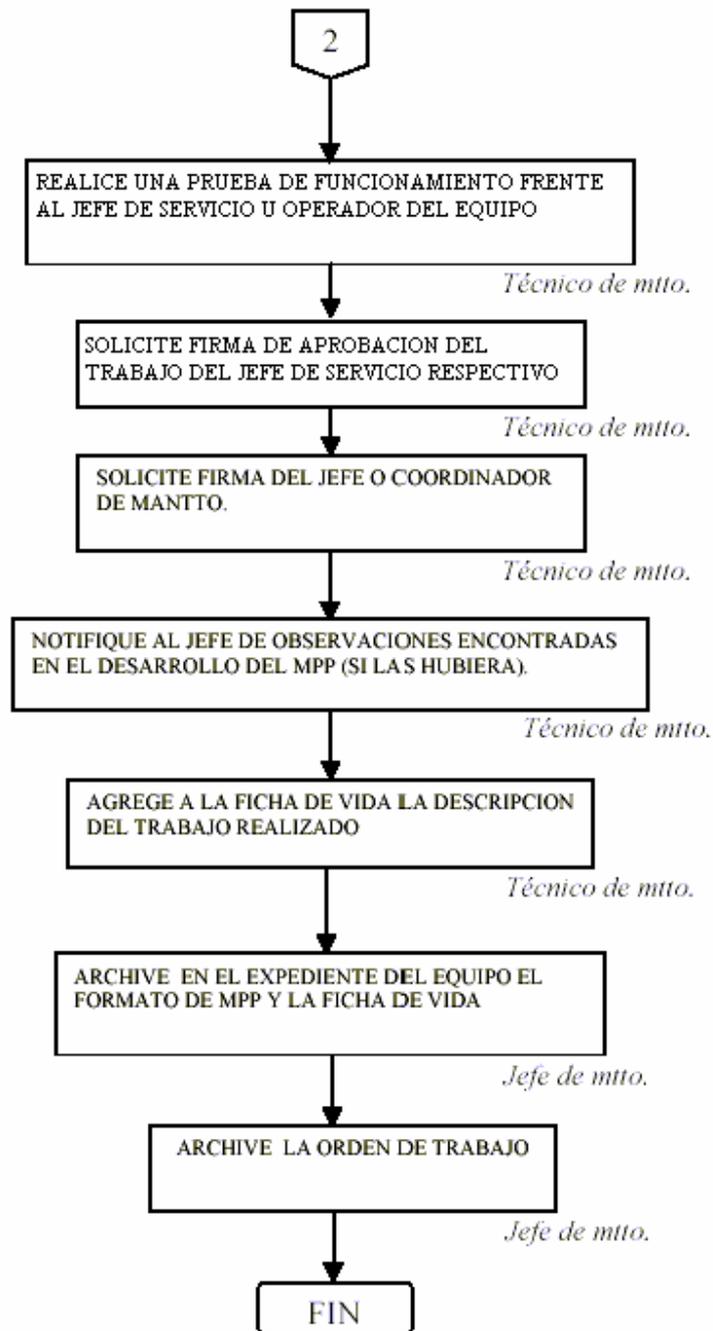
- ❖ Buscar la hoja para ejecutar la rutina correspondiente.
- ❖ Preparar el material, las herramientas, el equipo y los repuestos necesarios para ejecutar la rutina.
- ❖ Dirigirse hacia el lugar donde se encuentra el equipo.
- ❖ Llenar el encabezado del formato.
- ❖ Hablar con el operador para detectar fallas en el funcionamiento del equipo (ejecutar una prueba de funcionamiento junto con el operador).
- ❖ Ejecutar paso por paso la rutina indicada en el formato, señalando con un cheque después de ejecutar cada paso (no olvide leer las recomendaciones al pie de página del formato). NOTA: si existe algo inusual o que merezca anotarse, registrarlos en el espacio para observaciones al reverso de la hoja.
- ❖ Si el problema indicado por el operador no ha sido corregido, anotarlo en observaciones para que el jefe de mantenimiento pueda programar una visita para brindar el mantenimiento correctivo.
- ❖ Regresar la hoja al departamento de mantenimiento para la firma de aceptación.

El proceso se muestra en forma más detallada en el diagrama de flujo presentado abajo.

Figura 12 . Diagrama de flujo del proceso de las rutinas de mantenimiento







Fuente: Proyecto de mantenimiento hospitalario MSPAS-GTZ

### **5.3 Manual de operación del oxímetro de pulso**

En el mercado existen varios equipos cuyo principio de funcionamiento es siempre el mismo. Los diferentes equipos del mercado, sin embargo, tienen diseños y mandos diferentes. Para el presente manual se tomará como referencia el funcionamiento del oxímetro BCI 3304 por ser el de mayor recurrencia en el departamento de pediatría del Hospital San Juan de Dios, tratando de especificar diferencias entre éste y las otras marcas y modelos que actualmente se usan en dicho departamento.

#### **5.3.1 Conexión del sensor al paciente**

Antes de conectar el sensor al paciente, se deben seguir los siguientes pasos:

##### **5.3.1.1 Seleccionar el sensor adecuado**

Se debe verificar que el sensor a conectar es el indicado, de acuerdo al tipo de paciente, tomando en cuenta también su peso. A continuación se muestran los diferentes tipos de sensores, para pacientes específicos que utiliza cada marca de oxímetros de pulso.

A continuación se presentan una serie de tablas, en las cuales se presentan los modelos de sensores que se utilizan para cada marca de oxímetro, dependiendo del paciente que sea y del peso del mismo

**Tabla VII. Sensores adecuados a cada paciente para el oxímetro de pulso BCI 3304**

<b>PACIENTE</b>	<b>SITIO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
Adulto >100 Lb	Dedo de mano	3044: Sensor para adulto (reusable) 3043: Sensor universal Y (reusable)
	Dedo (mano o pie)	1300: Sensor desechable, adulto
	Oreja	3078: Sensor para oreja (reusable)
Pediátrico 33 a 100 Lb	Dedo	3044: Sensor para adulto (reusable) 3043: Sensor universal Y (reusable)
	Dedo (mano o pie)	1301: Sensor desechable, pediátrico dedo
	Oreja	3078: Sensor para oreja (reusable)
Infantil 6.6 a 33 Lb	Mano o pie	3043: Sensor universal Y (reusable)
	Pie	3025: Sensor de clip infantil, (reusable)
	Dedo (mano o pie)	1303: Sensor infantil desechable
Neonato <6.6 a Lb	Mano o pie	1302: Sensor neonatal desechable
	Pie	3025: Sensor de clip neonatal, (reusable)

Fuente: manual de usuario BCI

**Tabla VIII. Sensores adecuados a cada paciente para el oxímetro de pulso NELLCOR**

<b>Sensor <i>OxiMax</i></b>	<b>Modelo</b>	<b>Talla del paciente &gt;=mayor que &lt;=menor que</b>
Sensor adhesivo para frente <i>OxiMax</i> MAX-FAST, para uso en un solo paciente	MAX-FAST	>10 kg (22 libras)
Sensor no adhesivo <i>OxiMax</i> Softcare, para uso en un solo paciente, infante de pretérmino	SC-PR	<1,5 kg (3,3 libras)
Sensor no adhesivo <i>OxiMax</i> Softcare, para uso en un solo paciente, neonato	SC-NEO	1,5 a 5 kg (3,3 a 11 libras)
Sensor no adhesivo <i>OxiMax</i> Softcare, para uso en un solo paciente, adulto	SC-A	>40 kg (88 libras)
Sensor adhesivo <i>OxiMax</i> , para uso en un solo paciente, adulto	MAX-A	>30 kg (66 libras)
Sensor adhesivo <i>OxiMax</i> , para uso en un solo paciente, adulto, cable más largo de 36 pulgadas (91,44 cm)	MAX-AL	>30 kg (66 libras)
Sensor adhesivo <i>OxiMax</i> , para uso en un solo paciente, neonato/adulto	MAX-N	<3 kg o >40 kg (<6,6 libras u >88 libras)
Sensor adhesivo <i>OxiMax</i> , para uso en un solo paciente, pediátrico	MAX-P	10 a 50 kg (22 a 110 libras)
Sensor adhesivo <i>OxiMax</i> , para uso en un solo paciente, infante	MAX-I	3 a 20 kg (6,6 a 44,1 libras)
Sensor adhesivo <i>OxiMax</i> , para uso en un solo paciente adulto, nasal	MAX-R	>50 kg (110 libras)
Sensor adhesivo <i>OxiMax</i> OxiCliq <sup>®</sup> , para uso en un solo paciente, adulto, cable reutilizable	OxiCliq A	>30 kg (66 libras)
Sensor adhesivo <i>OxiMax</i> OxiCliq, para uso en un solo paciente, neonato/adulto, cable reutilizable	OxiCliq N	<3 kg o >40 kg (<6,6 libras u > 88 libras)

Fuente: manual de usuario NELLCOR

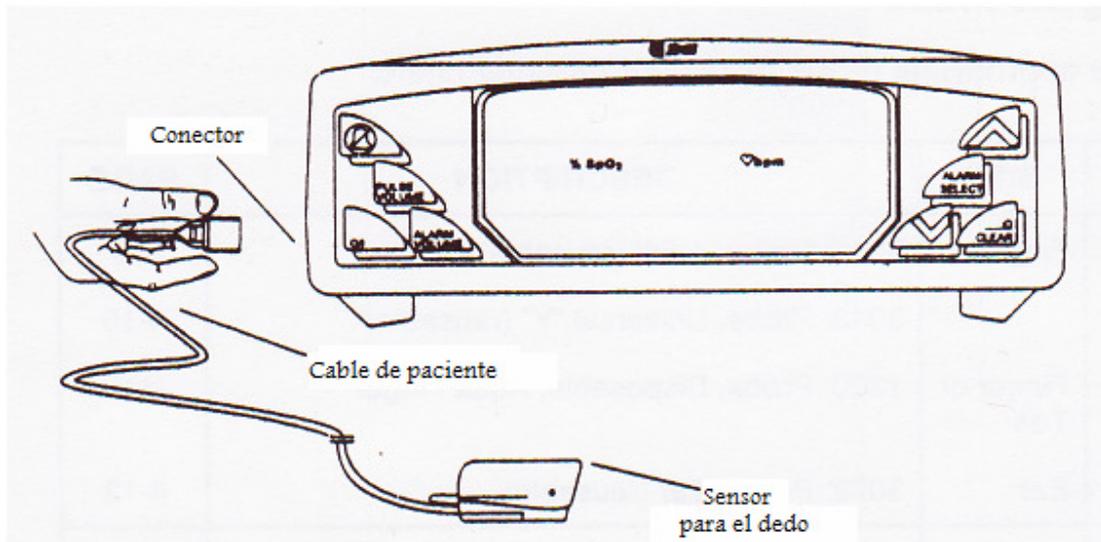
**Tabla IX. Sensores adecuados a cada paciente para el oxímetro de pulso DATEX OHMEDA**

<b>PACIENTE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Adulto >66 Lbs	<b>LNOP Adt.</b> Sensor desechable adultos
Adulto y pediátrico 22 a 110 Lbs	<b>LNOP Pdt.</b> Sensor desechable adultos delgados y uso pediátrico
Neonatos <22 Lbs	<b>LNOP Neo.</b> Sensor desechable para neonatos
Neonatos prematuros <2.2 Lb	<b>LNOP Neo. Pt.</b> Sensor desechable para neonatos prematuros
Adulto y pediátrico >66 Lbs	<b>LNOP DC1</b> Sensor reusable adultos y uso pediátrico

Fuente: manual de usuario Datex Ohmeda

Para conectar o desconectar el cable del sensor, hacia el monitor, hacerlo sujetando el conector, como se muestra en la figura; nunca se debe jalar del cable, ya que los cables de conexión son muy delicados y se pueden romper dañando el sensor.

**Figura 13: Conexión y desconexión del sensor del oxímetro.**

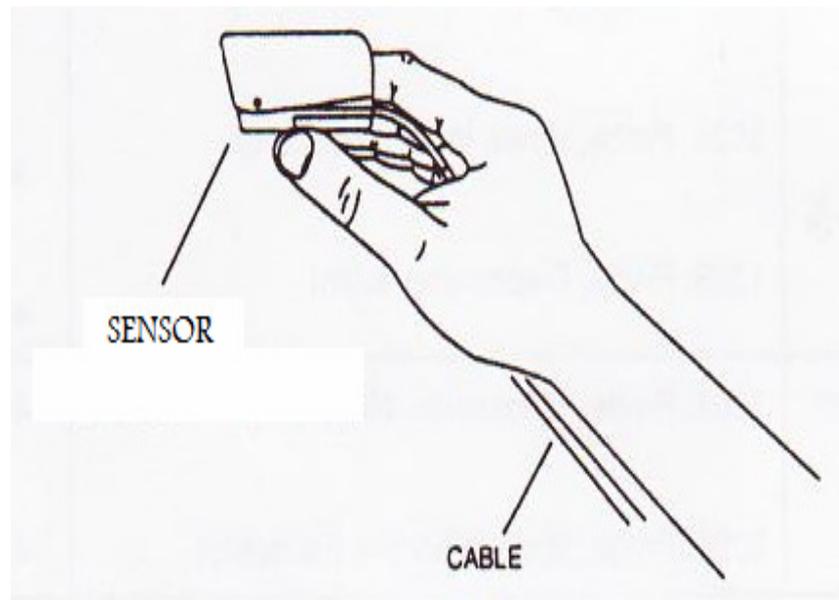


Fuente: Manual de instrucciones BCI

Antes de ensamblar el conector del sensor en el monitor, alinear los conectores, deben encajar suavemente, no usar fuerza excesiva o doblar mucho el cable del sensor,

Al colocar el sensor en el paciente, dejar que el cable cruce la palma de la mano y vaya paralelamente al brazo, como se muestra en la figura.

**Figura 14. Posición del cable del sensor**



Fuente: Manual de instrucciones BCI

### **5.3.1.2 Chequear el sensor y el cable del oxímetro**

Usar un sensor que presente cualquier daño puede causar lecturas incorrectas, no debemos utilizar ningún sensor que presente cortaduras, peladuras, etc.

Debemos inspeccionar cuidadosamente el sensor, buscando cualquier muestra de daño, buscando desde el lugar donde se encuentran los transductores, siguiendo por el cable, y terminando por el conector.

Con cualquier señal de daño debemos inutilizar el sensor, mientras se verifica si se le puede suministrar un mantenimiento correctivo, o debemos reemplazarlo.

Al inspeccionar los led y el fotodetector, comprobar que estén asegurados en su lugar, que no estén flojos o rotos.

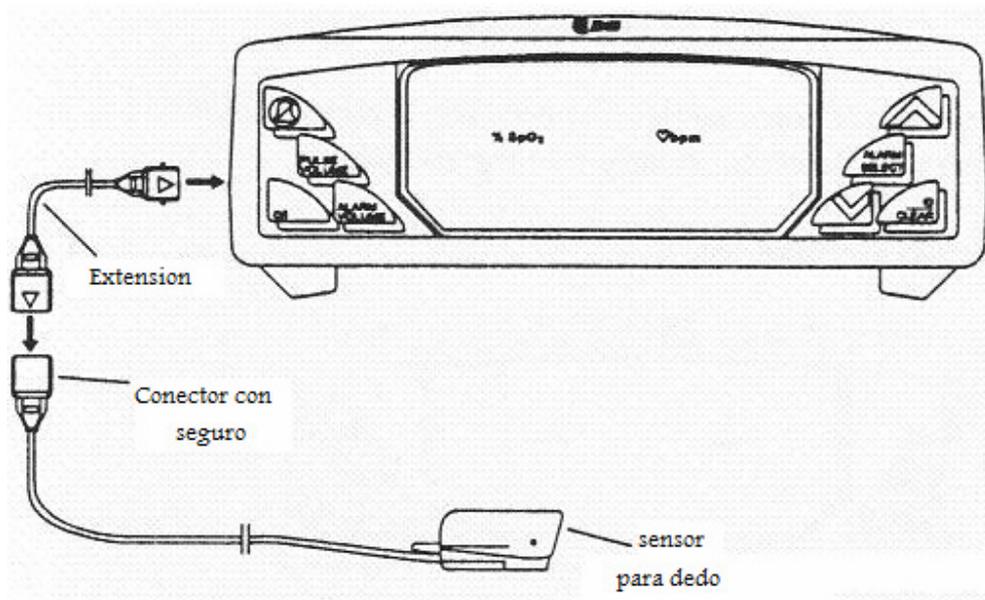
Con el cable, buscaremos signos de roturas, peladuras, dobleces muy ceñidos, ya que esto puede ser una causa de generación de ruido para las señales que se transmiten.

En el conector deben estar fijos los pines, no deben tener movimiento, deben estar rectos y verificar que estén completos.

Esto mismo lo debemos aplicar cuando además del sensor se utiliza un cable de conexión entre el sensor y el monitor.

Si el sensor no está conectado al cable, ensamblar los dos conectores, empujando ambos firmemente hasta que el seguro esté en su lugar, luego conectar el cable del sensor al monitor.

**Figura 15. Conexión del sensor con cable de extensión**



Fuente: Manual de instrucciones BCI

Si no se usa cable de extensión, conectar directamente el cable del sensor al monitor.

Ahora procedamos a encender el monitor, presionando la tecla O/I.

Antes de conectar el sensor al paciente, chequear que el sensor, el cable y el oxímetro trabajen satisfactoriamente comprobando lo siguiente:

La led roja en el sensor debe iluminarse.

El indicador PROBE del sensor debe encender intermitente.

Para los sensores tipo Y, los cuales tienen por un lado los transmisores, y aparte va el fotodetector; debemos alinear la luz roja con el detector, colocándolos a menos de 1/8 de pulgada uno frente al otro. Entonces el indicador PROBE encenderá intermitente.

Para los sensores de dedo y de oreja, una vez conectados al monitor debe encender intermitente el indicador PROBE.

### **5.3.1.3 Limpiar y desinfectar el sensor**

Al usar sensores reusables, limpiar y desinfectar el sensor antes de colocarlo a un nuevo paciente. No esterilizar por medio de autoclave, oxido de etileno, o sumergir el sensor en líquido.

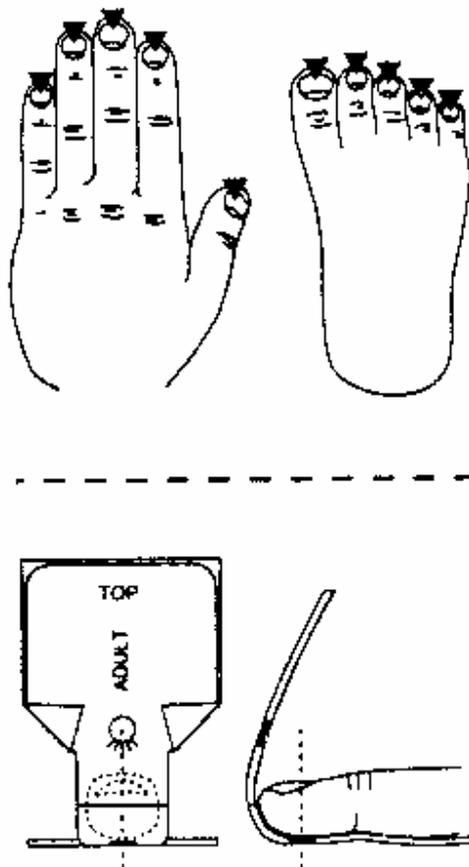
Siempre desconectar el sensor del monitor antes de limpiarlo.

Para limpiar el sensor, podemos utilizar un pedazo de wype o una tela suave humedecida en agua con jabón, o con espuma limpiadora, para desinfectar utilizamos alcohol isopropílico.

### **5.3.1.4 Colocar el sensor al paciente**

Si se va a utilizar un sensor de dedo de mano o de dedo de pie, debemos revisar que las uñas no estén muy largas, porque el emisor y el fotodetector nos deben quedar alineados en el centro de la yema del dedo.

**Figura16. Alineación del sensor**



Fuente: Manual de instrucciones BCI

Al conectar el sensor al paciente, el monitor nos mostrará el % SpO<sub>2</sub> y el pulso cardíaco.

### **5.3.2 Encendido del monitor**

Encender el monitor, presionando la tecla O/I. Cuando enciende, si el sensor está conectado al paciente, el monitor hace lo siguiente:

- ❖ La barra del pulso cardíaco enciende todas las luces por un momento.
- ❖ Se despliega momentáneamente la versión del software del monitor.
- ❖ Se despliega momentáneamente el número de paciente.

Después de algunos segundos el valor de % SpO<sub>2</sub>, la frecuencia cardíaca y la barra del pulso cardíaco deben mostrarse en la pantalla.

El monitor puede trabajar con tres parámetros para calcular el SpO<sub>2</sub> y el pulso. Para cambiarlos, presione y suelte la tecla apropiada cuando se encienda el monitor como se muestra en la tabla.

**Tabla X. Pulsos para calcular los parámetros**

<b>Tecla a presionar</b>	<b>SpO<sub>2</sub> promedio</b>	<b>Pulso promedio</b>
↑	16	16
↓	4	8
Sin presionar (default)	8	8

Fuente: Manual de instrucciones BCI

El promedio SpO<sub>2</sub> es el número de pulsos tomados para promediar el valor del SpO<sub>2</sub>, y el promedio de pulso es el número de segundos tomados para promediar el valor del pulso.

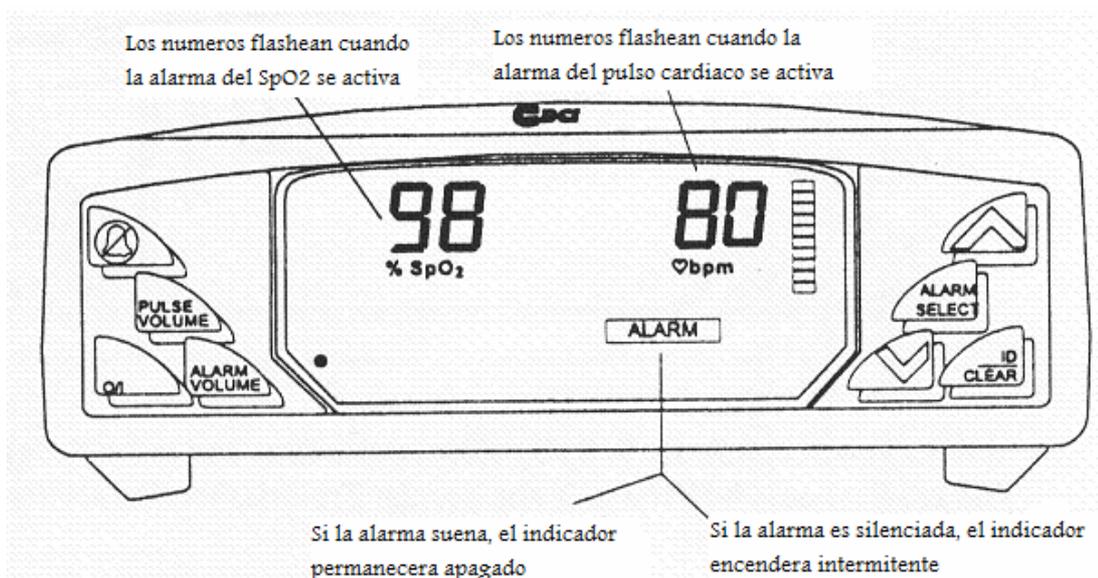
Cada vez que el monitor es encendido los parámetros vuelven al default.

### 5.3.3 Alarmas

Las alarmas se activan cuando detectan una condición anormal del paciente.

Una alarma se enciende cuando la medida del SpO<sub>2</sub> del paciente decae o se incrementa de los parámetros establecidos para la alarma, de la misma manera cuando la medida de la frecuencia cardiaca se sale de los rangos.

Figura 17. Ejemplo de alarma



Fuente: Manual de instrucciones BCI

Durante una alarma:

- ❖ Los números que corresponden a la alarma activada encienden intermitentes.
- ❖ La luz de ALARM enciende intermitente.
- ❖ La alarma sonará, si no está silenciada. La alarma sonará como una sirena: dee, doo, dee, doo.

#### **5.3.4 Alertas**

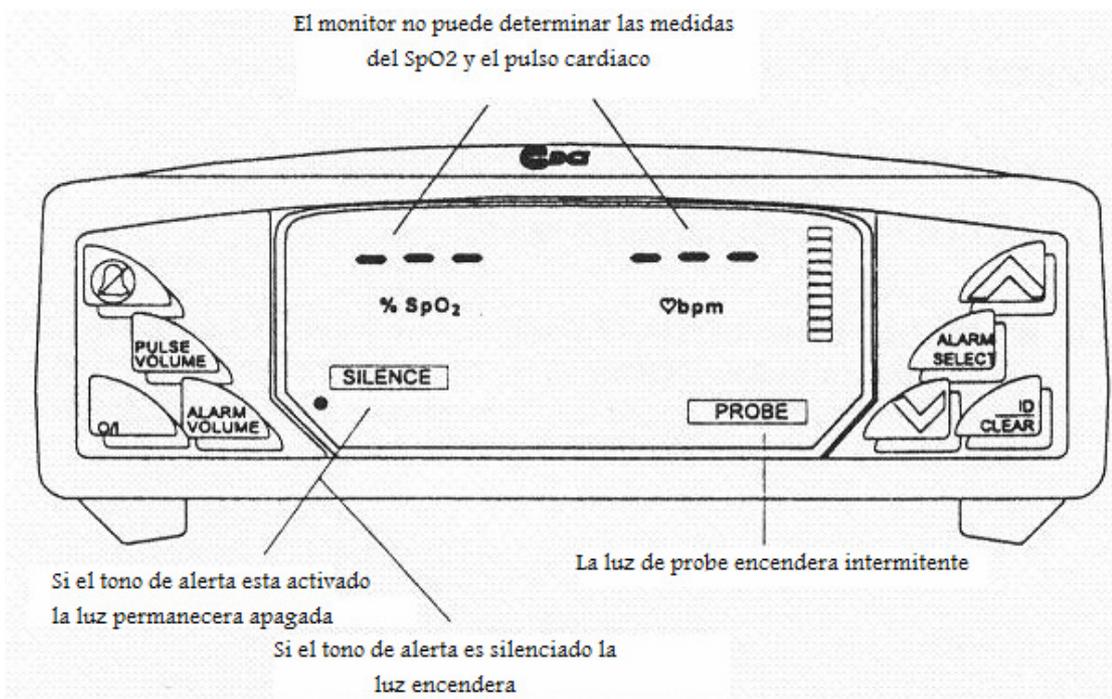
Una alerta se activa cuando se presenta una condición anormal en el monitor.

Cuando se activa una alerta el monitor no medirá ninguno de los parámetros que sondea.

Una alerta se enciende cuando:

- ❖ El sensor no está conectado al monitor.
- ❖ El sensor no está conectado al paciente.
- ❖ El sensor no está bien posicionado en el paciente.

**Figura 18. Ejemplo de alerta**



Fuente: Manual de instrucciones BCI

Durante una alerta:

- ❖ La luz PROBE enciende intermitente.
- ❖ Emite un tono de alerta, si no esta silenciado. El tono de alerta es un tono único con pausa: beep beep, pausa, beep beep.

### 5.3.5 Indicador de batería baja

Cuando la carga de la batería está muy baja, el monitor alerta de la siguiente manera:

- ❖ Un grupo de beeps suena cada 30 segundos.
- ❖ El indicador LO BATT se ilumina intermitente.

Cuando el indicador LO BATT se enciende, debe ser cargada inmediatamente la batería del monitor. En otro caso el monitor se apagará automáticamente después de 30 minutos desde que LO BATT se enciende.

### 5.3.6 Cargar la batería del monitor

- ❖ Conectar el cargador al toma en la pared.
- ❖ Ver que la luz de **POWER** en el monitor se encienda.
- ❖ La luz verde indica que la batería del monitor se está cargando y está conectado a la corriente AC.
- ❖ En aproximadamente seis horas, la carga de la batería monitor estará completa. Una carga completa de la batería provee aproximadamente 4.5 horas de uso.

### 5.3.7 Impresora y comunicación con PC

El oxímetro BCI 3304 posee una interfase externa para impresora o PC, en la parte posterior del monitor.

Nos puede imprimir los datos del paciente en tiempo real cada 5 segundos.

El puerto de entrada-salida es un puerto serial RS-232C, con el conector DB-9, el tipo de datos es ASCII.

La configuración de puerto de ser de la siguiente manera, tanto para la impresora como para la PC.

- ❖ 9600 baudios
- ❖ 1 bit de arranque
- ❖ 8 bits de datos
- ❖ 1 bit de parada
- ❖ No paridad.

Para activar el puerto se procede de la siguiente manera.

Encender el monitor y presionar la tecla ALARMA SELECT cuando se está encendiendo el monitor. Utilizando la tecla ALARM SELECT, seleccionar el modo OUT y presionar ↑ hasta encontrar P (impresora). Presionar ALARM SELECT hasta que el número del paciente sea desplegado.

### **5.3.8 Calibración de la salida analógica**

Para tener una lectura correcta de los parámetros monitoriados por el oxímetro, debemos calibrar la señal de entrada hacia el amplificador. La señal analógica es un voltaje DC que varía entre 0 y 1 voltios.

Conectar un adaptador para salida analógica en el puerto DB-9, y conectarlo a un voltímetro o de preferencia a un osciloscopio.

Cuando se enciende la unidad entrar al modo de configuración presionando y soltado la tecla ALARM SELECT. Luego vuelva a presionar la tecla ALARM SELECT varias hasta obtener un mensaje de OUT P. Use la flecha hacia arriba para seleccionar el modo A (análogo).

Ahora con el sensor conectado al monitor, pero sin conectarlo al paciente, ajustamos por medio de las flechas el voltaje hasta 0 voltios DC en la salida analógica, en la pantalla nos mostrará un 0% de SpO2 y 0 bpm de frecuencia cardiaca.

Desconectamos el sensor del monitor. Ahora nos mostrará en la pantalla 100% SpO2 y 250 bpm de frecuencia cardiaca, entonces con las flechas ajustamos un voltaje de 1 voltio DC en la salida analógica.

### **5.3.9 Fallas**

A continuación se presentan una serie de fallas comunes y sus posibles soluciones.

**Tabla XI. Posibles fallas, causa y solución**

<b>Problema</b>	<b>Posible causa / solución</b>
Alerta PROBE encendida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sensor puede no estar conectado apropiadamente al monitor. Verificar que el conector esté ensamblado firmemente en el monitor.</li> <li>2. El sensor puede no estar conectado apropiadamente al paciente. Corroborar que el sensor esté bien colocado.</li> <li>3. Algún adhesivo puede estar interfiriendo con la señal del sensor. Quitar adhesivo.</li> <li>4. Puede estar defectuoso, el sensor, el cable de interfase, o el monitor. Pedir mantenimiento correctivo.</li> </ol>
Indicador LO BATT	La batería del monitor ha empezado a descargarse. Conectar cargador al monitor.
El SpO <sub>2</sub> , la frecuencia y barra del pulso cardíaco, no aparecen, son intermitentes, o da valores erráticos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El paciente puede estar en movimiento. Mantenerlo lo más quieto posible.</li> <li>2. Los conectores del sensor al monitor pueden no estar firmemente conectados. Chequear que esté bien ensamblados lo conectores.</li> <li>3. El sensor no está bien asegurado al paciente. Verificar que el sensor esté bien en el paciente.</li> <li>4. Un adhesivo puede estar obstruyendo la señal del sensor. Quitar el adhesivo.</li> <li>5. Hay colorante en la sangre.</li> <li>6. Las uñas están demasiado largas.</li> <li>7. Hay demasiada luz ambiental.</li> <li>8. Emisiones electromagnéticas por otros</li> </ol>

	<p>aparatos electrónicos.</p> <p>9. Puede estar defectuoso, el sensor, el cable de interfase, o el monitor. Pedir mantenimiento correctivo.</p>
El monitor no enciende cuando se presiona la tecla I/O.	<p>1. La batería no tiene carga. Conectar el cargador al toma de AC.</p> <p>2. Fusible quemado. Cambiar fusible.</p> <p>3. Falla en el monitor. Pedir mantenimiento correctivo.</p>
El monitor se apaga constantemente	La batería necesita carga.
El indicador POWER no enciende cuando se conecta la fuente de poder de AC	<p>1. Revisar que esté bien conectada la fuente de poder al tomacorriente de AC.</p> <p>2. Verificar si está apagado el flipp-on del tomacorriente donde estamos conectando.</p> <p>3. Comprobar que tenemos voltaje en el tomacorriente, con una lámpara de prueba o con el voltímetro.</p> <p>4. La fuente de poder AC o el monitor pueden estar defectuosos. Pedir mantenimiento correctivo.</p>
No imprime o no funciona la impresora, ni hay datos en la PC	<p>1. La impresora o la PC no están bien conectados a la red, el interruptor de encendido, está en modo apagado. Conecte la energía y encienda el switch.</p> <p>2. Los conectores de interfase no están conectados bien. Ensamblar bien los conectores.</p> <p>3. Revisar los protocolos de comunicación.</p> <p>4. La impresora o el monitor tienen algún defecto. Pedir mantenimiento correctivo.</p>

Fuente: Chequeos de oxímetros en el Hospital San Juan de Dios.

### **5.3.10 Consideraciones sobre interferencia electromagnética**

La Interferencia Electromagnética se puede definir como el efecto resultante de la interacción recíproca entre dos ondas electromagnéticas diferentes. En el caso de equipos que operen con electricidad, podríamos decir que la interferencia electromagnética corresponde al efecto que produce un equipo sobre el otro en función de los campos electromagnéticos que ambos generan.

Para entender como esto ocurre, es preciso recurrir al Principio de Inducción de Faraday, el cual establece que todo campo magnético variable genera un campo eléctrico variable. Lo contrario también es cierto y todo campo eléctrico variable genera un campo magnético variable.

En el caso de luces incandescentes, las barras eléctricas que se encuentran en el techo conducen una corriente eléctrica variable, la cual genera un campo magnético variable, capaz de inducir corrientes eléctricas en cualquier dispositivo electromédico que se encuentre en la vecindad.

La interferencia electromagnética afecta sobremanera a los equipos analógicos tales como ventiladores mecánicos, nebulizadores, electrocardiógrafos y oxímetros. La interferencia sobre los equipos es clara y se comprueba al observar un registro electrocardiográfico o una curva plestimográfica de un oxímetro tomado con un equipo analógico en un ambiente con elevados niveles de interferencia y pobre sistema de aterramiento, ya que se ven claramente curvas distorsionadas.

La creciente afluencia de personas al entorno de los servicios clínicos de hospital con sistemas de telecomunicación vía radiofrecuencia puede generar problemas en el correcto funcionamiento de los Equipos Electromédicos.

Se han realizado estudios con equipos electromédicos en laboratorio y se ha observado que el 66% de los equipos se vieron afectados por interferencias electromagnéticas causadas por teléfonos celulares a una distancia máxima de 4m aunque, es conveniente resaltar, que el 90% de los equipos afectados lo fueron cuando el equipo se encontraba a 1 m del emisor. El Teléfono móvil suele operar con salida de 0.8W , banda de 900 Mhz. y banda lateral de +/- 5Khz.

Los problemas relacionados con interferencias electromagnéticas se han categorizado de la siguiente manera:

- ❖ Categoría 1: Ningún efecto sobre el equipo.
- ❖ Categoría 2: Efecto reversible (cuando el teléfono móvil es movido, el problema cesa y se vuelve a las condiciones normales)
- ❖ Categoría 3: Efecto irreversible (aunque el teléfono móvil sea cambiado, el equipo no vuelve a sus condiciones normales de operación). Sin embargo, el personal médico es capaz de reinicializar el equipo y volver a su correcto funcionamiento.
- ❖ Categoría 4: Efecto irreversible para el personal médico que no puede volver a acondicionar el equipo. Requiere intervención del servicio técnico.

- ❖ Categoría 5: Efecto irreversible sin solución. El equipo no puede volver a ser utilizado.

De un estudio de campo realizado en España a 108 equipos electromédicos de cuatro hospitales diferentes, se detectó lo siguiente:

El 56 % de los equipos electromédicos experimentan interferencias debido a teléfonos móviles.

- ❖ El rango de distancia para interferencias irreversibles se sitúa entre 20 y 150 cm.
- ❖ El mayor número de problemas (>80%) se sitúa en equipos fabricados antes de 1993.
- ❖ Ningún equipo, alcanzó los niveles 4 ó 5 en la categorización de Riesgo.

En función de todo lo anterior, se deben tomar las siguientes medidas para evitar los problemas que, sin duda, crea la telefonía móvil.

Los teléfonos móviles y emisoras tipo walkie-talkie deberán apagarse totalmente en el entorno de quirófanos, unidades de cuidados intensivos y áreas de seguridad de vida.

1. Los teléfonos móviles deben apagarse igualmente en salas de hemodiálisis, salas de terapia, electrofisiología y salas de diagnóstico y pruebas funcionales de cualquier tipo.

2. Los teléfonos móviles se pueden utilizar en zonas de administración, salas de espera de visitas, salón de entrada y similares, donde no existan equipos electromédicos.

## **6. IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN**

### **6.1 Difusión**

En este proceso se informará a todos los involucrados, sobre la planificación, ejecución y control del programa de mantenimiento preventivo para los oxímetros. Planteando los procedimientos que se tienen, para implementarlos de la mejor manera.

#### **6.1.1 Reuniones con operadores y encargados de equipo**

Las reuniones con los operadores y encargados de equipo es nuestro punto de partida para la implementación del mantenimiento, ya que ellos más que nadie, conocen las necesidades y el estado en que se encuentran los equipos, además, los que requieren con mayor prontitud de mantenimiento.

Junto con ellos planificaremos los días y las horas a las que se realizarán las rutinas de mantenimiento, ya que según sus estadísticas nos pueden indicar los períodos de tiempo en que algunos oxímetros de pulso estén libres.

#### **6.1.2 Capacitación**

Esta es una etapa muy importante, ya que al tener gente capacitada para realizar el mantenimiento nuestros objetivos serán alcanzados de la forma que lo esperamos.

Es necesario hacer diferentes programaciones para las capacitaciones, para cubrir a todo el personal que realizará ésta práctica.

El lugar en donde se impartirán las capacitaciones, variará dependiendo del grupo al que se atienda.

La capacitación constará de tres diferentes niveles, los cuales se definen a continuación:

#### **6.1.2.1 Capacitación a operadores de equipo**

Según lo observado hasta el momento, ésta es la capacitación más necesaria de todas.

Los operadores son las personas que tienen contacto con los equipos diariamente, son las que los trasladan de un lugar a otro, conectan a los pacientes, hacen diariamente la limpieza externa del equipo y son responsables de ellos.

Según la manipulación que los realicen operarios , así será la vida útil de equipo, por lo que es de suma importancia que conozcan el manejo adecuado del equipo.

Después de recibir un adiestramiento sobre los cuidados básicos y adecuada operación de los mismos, el operador estará en capacidad de realizar las actividades siguientes:

- ❖ Chequeo diario de las conexiones eléctricas y cables de los sensores del equipo.

- ❖ Desconexión del equipo al término de la jornada de trabajo.
- ❖ Limpieza de superficies externas.
- ❖ Cambio de sensores.
- ❖ Protección del equipo contra polvo, calor o humedad.

Al capacitar a éste grupo se pondrá especial atención al manejo y cuidado el oxímetro, ya que la mayoría de fallas detectadas, son por mal manejo de sensores y cables de conexión.

Se han encontrado pines de conectores quebrados, desoldados y doblados; así también cables en mal estado, por la mala manipulación en la conexión de desconexión de los mismos.

La didáctica a utilizar en la capacitación, se basará en una presentación realizada en PowerPoint en la que se detallarán los procedimientos de limpieza y chequeo del oxímetro, además de los cuidados requeridos para la utilización del mismo.

Los conocimientos adquiridos en la explicación, se aplicarán al realizar una rutina de mantenimiento diario como ejemplo para todos los capacitados, poniendo énfasis en los cuidados que se deben tener principalmente al manipular el sensor del oxímetro de pulso.

La capacitación se llevará a cabo en una de las aulas de enfermería del departamento de pediatría.

Se tiene estimado un tiempo aproximado de 90 minutos para la capacitación.

#### **6.1.2.2 Capacitación a encargados de equipo**

El contenido de la capacitación para los encargados de equipo, será el mismo que para los operadores de equipo, con la diferencia de que a éstos se les asignará la tarea de supervisar las rutinas que los operadores realicen.

La capacitación se llevará a cabo en el mismo lugar que la capacitación de los operarios de equipo, y se tiene estimado el mismo tiempo de duración.

#### **6.1.2.3 Capacitación a técnicos de equipo médico**

El mantenimiento preventivo lo realizarán los técnicos de equipo médico del departamento de mantenimiento del hospital San Juan de Dios.

Hay contratados cuatro técnicos de equipo médico, que son los encargados de revisar pequeñas fallas en los equipos, dos de ellos únicamente, tienen conocimientos de electrónica. Al terminar la capacitación, los cuatro serán capaces de realizar el mantenimiento preventivo de los oxímetros de pulso.

La capacitación de los técnicos será más profunda que la de los operadores de equipo.

Por medio de presentación de PowerPoint, se explicará los principios de funcionamiento del oxímetro de pulso, los elementos que intervienen, se explicará por medio de un diagrama de bloques el funcionamiento de cada etapa del oxímetro, para tener claros todos los aspectos necesarios para realizar un buen mantenimiento preventivo.

Como punto importante se darán a conocer los aspectos de seguridad eléctrica que se deben tomar en cuenta para el buen funcionamiento de los oxímetros y los cuidados que se deben tener con radiaciones electromagnéticas, ya que éstas pueden hacer variar las lecturas e incluso, dejar inutilizable un equipo.

Se impartirán varias charlas, impartidas por personas internas y externas al hospital, entre ellas una para la explicación de la operación del oxímetro, parámetros aceptables para los pacientes, configuración de alarmas, conexión y desconexión del paciente, por parte del Jefe del área de intensivo del departamento de pediatría del hospital San Juan de Dios.

Otras charlas estarán orientadas a aspectos técnicos de marcas específicas de oxímetros de pulso, por lo que se pidió colaboración a Casa Médica y a TAG S.A. para que realizaran presentaciones acerca de los modelos que ellos tienen en existencias.

Una vez expuesto el contenido de la capacitación y teniendo en cuenta que fue asimilado por los técnicos, se procederá a realizar prácticas con las diferentes marcas de oxímetros que hay en el departamento de pediatría.

Se explicará nuevamente paso por paso, las rutinas a realizar, aclarando dudas que se vayan presentando en el desarrollo de la misma. Al terminar la

capacitación se realizará una evaluación para cuantificar la asimilación del contenido de la fase enseñanza-aprendizaje. La capacitación se llevará a cabo en el taller de equipo médico del departamento de mantenimiento del hospital.

## **6.2 Costos para la iniciación del programa**

Los costos para el mantenimiento preventivo de los oxímetros, no será muy elevado, ya que la mayoría de los elementos que intervienen en el proceso, están integrados al hospital.

### **6.2.1 Costos en personal**

El personal que realizará los mantenimientos ya es parte de la planilla del hospital, por lo que no habrá gastos extras, al no tener que contratar a más personal.

Se realizó una evaluación a la carga de trabajo que actualmente tienen los técnicos de equipo médico, se llegó a la conclusión de que hay tareas que realizan, las cuales no son parte de sus actividades, tales como, reparaciones eléctricas, reparaciones telefónicas, etc. Para las cuales hay técnicos especializados para ello, por lo que deben ser quitadas de su carga de trabajo, lo que nos deja un tiempo mayor para la programación de los mantenimientos.

### **6.2.2 Costos en herramientas, equipo y materiales**

Las herramientas que poseen los técnicos de equipo médico, cubren todas las necesidades para realizar el mantenimiento preventivo de los oxímetros de pulso, como podemos verificar en la tabla 6 entre las herramientas necesarias tenemos, juego desatornilladores de diferentes tipos, equipo

completo de electrónica y electricidad, por ejemplo, cautín, pinzas de corte como de puntas, alicate, probador de voltaje, estaño, succionador para desoldar, malla para desoldar, etc, entre el equipo necesario podemos mencionar el multímetro, que también poseen los técnicos, lo que es necesario adquirir y ya estaba contemplado entre los requerimientos del área de electromedicina del departamento de mantenimiento del hospital es la compra de un osciloscopio y un simulador de Spo2 y pulso cardíaco, lo que sería la mayor inversión requerida para completar el plan de mantenimiento de los oxímetros.

Haciendo referencia nuevamente a la tabla 6, entre los materiales utilizados para el mantenimiento preventivo de los oxímetros, podemos citar el wype, el alcohol isopropílico al 70%, espuma limpiadora, limpiacontactos y aire comprimido, la tabla a continuación presenta los precios de estos materiales a utilizar.

**Tabla XII. Análisis de precio de materiales por equipo**

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad de equipos por material</b>	<b>Valor por equipo</b>
Wype	1 libra	Q 5.00	15	Q 0.33
Alcohol	1galòn	Q20.00	25	Q 0.80
Aire comprimido	Bote 510ml	Q20.00	20	Q 1.00
Espuma	Bote 600ml	Q25.00	15	Q 1.66
Limpiacontactos	Bote 450ml	Q30.00	20	Q 1.50
<b>Total por equipo</b>				<b>Q 5.30</b>

Fuente: Comercios del ramo

### **6.2.3 Costos de rutinas de mantenimiento**

Para conocer el costo de las rutinas de mantenimiento, debemos tomar en cuenta el valor de los insumos o materiales utilizados y el tiempo de horas/hombre para realizar cada rutina.

Tomando en cuenta que el sueldo promedio de un tècnico de equipo mèdico es de Q 2500.00 por lo que:

Valor hora-hombre = sueldo / horas al mes

Valor hora-hombre=  $2500 / 176 = Q14.20$

Por lo que el valor de la rutina de mantenimiento por equipo es:

El valor hora-hombre + valor de materiales utilizados

Valor de rutina =  $14.20 + 5.30 = Q 19.50$  por oxímetro.

### **6.3 Seguimiento del programa de mantenimiento preventivo para los oxímetros**

La supervisión del mantenimiento como las auditorías periódicas serán una retroalimentación para hacer cumplir los programas propuestos, y así tener un control de todas las actividades realizadas, todo ello nos da como resultado cubrir los objetivos que nos trazamos con el mantenimiento preventivo de los oxímetros de pulso.

### **6.3.1 Auditorias periódicas**

Se realizarán para verificar el cumplimiento de los programas establecidos para la mejora del equipo. Para la periodicidad, deberán establecerla el departamento técnico de común acuerdo con la dirección del hospital, ya que es necesario tener referencia de las condiciones generales de los equipos técnicamente, para identificar equipos en mal estado que deban ser dados de baja, en donde la dirección del hospital discernirá la compra de equipo nuevo.

### **6.3.2 Supervisión**

Al terminar el mantenimiento preventivo, siguiendo las rutinas preestablecidas, el encargado de supervisar deberá hacer una verificación de los trabajos realizados, para cerciorarse de que el mantenimiento que se está realizando, satisfaga las necesidades de los equipos, y se realice en el tiempo establecido, ésta se hará por medio de la hoja de registro, y así poder realizar una base de datos para tener el control del mismo.

### **6.3.3 Visitas de inspección de desarrollo de rutinas**

Se realizarán visitas de inspección al azar, para corroborar el cumplimiento de las rutinas y programaciones establecidas de una manera estricta.

Debemos cerciorarnos de que los técnicos estén cumpliendo con todas las especificaciones dadas, y que apliquen los conocimientos obtenidos en las capacitaciones.



Continúa


Supervisor de sección

Vo.Bo. Jefe de mantenimiento

Fuente: Programa de mantenimiento preventivo a equipo electromédico del Hospital General San Juan de Dios

#### 6.4 Evaluación

La evaluación se puede hacer con la información que se presenta en las ordenes de trabajo, y puede ser de dos tipos: cuantitativa, cuando obtenemos parámetros de orden numérico, por ejemplo porcentaje de horas hombre trabajadas, porcentajes de fallas en equipos, etc.

La cualitativa, nos permite inferir ciertos aspectos como son la calidad de trabajo realizado, el grado de incidencia de problemas por determinada causa, la necesidad de entrenamiento de los técnicos de mantenimiento y de operadores de equipo, equipo que requiere mantenimiento correctivo, equipo que se va a dar de baja, etc.

La evaluación que se obtiene de la acumulación de información y de utilización de fórmulas matemáticas y estadísticas, permite conocer errores como aciertos en el pasado para así proyectarnos en el futuro.

El proceso de evaluación cualitativa es continuo y debe ser realizado tanto por el jefe de mantenimiento como por los jefes de sección; la evaluación cuantitativa se hace para un período de tiempo que estableceremos de seis meses y nos permitirá hacer comparaciones entre períodos pasados.

## **6.5 Resultados**

Los resultados obtenidos serán a corto y a largo plazo.

### **6.5.1 Resultados a corto plazo**

A corto plazo los resultados obtenidos han sido muy favorables, ya que entre ellos podemos mencionar:

- Cumplimiento satisfactorio de las rutinas de mantenimiento por técnicos y operadores de equipo.
- Asimilación exitosa de los conocimientos impartidos en las capacitaciones.
- Aprovechamiento de las capacidades y tiempo de los técnicos de equipo médico, en su área de trabajo.

### **6.5.2 Resultados a largo plazo**

Los resultados a largo plazo se manifestarán con el tiempo, pero se espera reducir el número de fallas en los oxímetros y disminuir el tiempo muerto de los equipos, así como una disminución en el mantenimiento correctivo.



## CONCLUSIONES

1. El hospital general San Juan de Dios es uno de los hospitales de Guatemala que atiende más pacientes en promedio, por lo que los oxímetros que se encuentran funcionales no se dan abasto para atender la demanda poblacional.
2. El establecer programas de mantenimiento preventivo para los oxímetros de pulso, es evidentemente necesario, debido a que el hospital es una institución cuyo objetivo es conservar la salud. Es por ello que nace la necesidad de contar con programas de mantenimiento que garanticen, que el equipo que está utilizando el paciente cumpla con las normas hospitalarias establecidas.
3. La planificación es necesaria para el mantenimiento, ya que cada rutina de limpieza y mantenimiento, debe estar debidamente planificada, esto se logra elaborando calendarios de limpieza, con la frecuencia adecuada se organiza y dirige el personal por medio de organigramas detallados y una cosa muy importantes es el control del mantenimiento por medio de registros que contengan los datos e información del equipo.
4. Al planificar tres rutinas diferentes como son la diaria, la mensual y la semestral, se facilita el mantenimiento. Además para hacer las rutinas más eficientes se organizaron las herramientas, y las cantidades de materiales para cada una.

5. El equipo estaba muy deteriorado, ya que hace tiempo que no recibía mantenimiento preventivo, por el alto costo de los mismos. Con la implementación del programa de mantenimiento el poco gasto planificado cuidadosamente en el mantenimiento, reducirá grandemente la depreciación del equipo, aumentará su vida útil, y tendrá una mejor eficiencia de trabajo.
6. La mayor incidencia de falla depende de la mala manipulación de los oxímetros, en especial de los cables de los sensores, porque para desconectarlos los halan del cable y no del conector como debería de ser; de esta manera se rompen los cables.
7. De los oxímetros de pulso que se encuentran inventariados únicamente el 47% están funcionales.

## RECOMENDACIONES

1. Es aconsejable reparar los equipos en mal estado que aún se pueda, para ponerlos nuevamente en funcionamiento, y para los que ya no haya reparación, comprar equipo nuevo para reemplazarlo.
2. Practicar las rutinas de mantenimiento en el momento en que está planeado, con los materiales mencionados, ya que un equipo sin mantenimiento se deteriora aceleradamente, y en poco tiempo estaría como un equipo muerto.
3. Dar una buena capacitación a las enfermeras del hospital, ya que ellas son las que utilizan el equipo, para que sigan el procedimiento adecuado, tanto para la limpieza, como para la manipulación de los oxímetros, poniendo especial énfasis en que no halen el cordón del sensor para desconectar.
4. Ninguna persona que no halla sido capacitada previamente sobre el mantenimiento de los oxímetros debe manipular los mismos.
5. La capacitación que se brinda tanto a usuarios de equipo como a técnicos debe ser teórica-práctica.
6. Siempre que lo tengamos a la mano, utilizar el manual de usuario del equipo.
7. Escoger el sensor adecuado al peso del paciente, ya que si no se hace, se obtendrán medidas erróneas.

8. Poseer una base de datos, para tener los registros informativos a la mano cada vez que se preste el servicio de mantenimiento, tanto en el departamento de pediatría como en el departamento de mantenimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BCI Equipment. **Clinician operation manual**. Version 6. USA. 1997.
2. Guyton. **Fisiología**. 8ª. Edición. México D.F. 1992.
3. Hayt, William H. **Teoría Electromagnética**. Segunda edición. McGraw-Hill. 1991.
4. <http://escuela.med.cl/publ/ModRespiratorio/Mod2/EpocSaturimetria.htm>
5. <http://www.datex-ohmeda.com>
6. <http://www.nellcor.pb.com>
7. Instituto de Microelectrónica de la Universidad de Madrid. **Oximetría de pulso basada en diodos laser**. Departamento de Biosensores. 2004.
8. J. P. Silveira. **Oxygen saturation and optic sensors**. 1990.
9. L. Crounwel. **Instrumentación y medidas biométricas**. Boixareu editores 2000.
10. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. **Teoría de mantenimiento**. Guatemala. 1975.

11. Olga Teresa Baten Lara. **La intervención de la trabajadora social, ante actuales políticas hospitalarias.** Trabajo de graduación. USAC. 1999.
  
12. PMH MSPAS/GTZ, **Propuesta de Reorganización del Sistema de Mantenimiento en los Establecimientos de Salud pública de El Salvador,** SanSalvador, 1997.
  
13. Proyecto de mantenimiento hospitalario **“Manual de mantenimiento preventivo planificado MPP”.** 2ª edición. Enero de 1995. El Salvador.
  
14. Richard Aston. Principles of biomedical instrumentation and measurement. Maxwel MacMilan International Edition. 1998
  
15. Universidad Católica de Chile. **Saturometría de pulso.** Publicaciones de Posgrado. 2003.
  
16. Webster. **biomedical Instrumentacion.**

### Anexo 1. Formato de rutina de mantenimiento preventivo del oxímetro

Rutina de Mantenimiento Preventivo Planificado	MINISTERIO DE SALUD Y ASISTENCIA SOCIAL HOSPITAL NACIONAL DE: DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO							
	<u>Oxímetro de pulso</u>		SERVICIO:					
EQUIPO			AMBIENTE					
MARCA								
MODELO								
SERIE								
Nº INV. TECNICO								
ID								
<u>Semestral</u>			1	2	3	4	5	6
Inspeccionar las condiciones ambientales en las que se encuentra el equipo								
Efectuar Limpieza integral externa del equipo								
Inspeccionar componentes eléctricos, identificar componentes deteriorados o sobrecalentados								
Efectuar limpieza integral interna del equipo								
Inspeccionar las tarjetas electrónicas y limpiar								
Verificar los dispositivos de control, indicadores y presentadores.								
Chequear funcionamiento completo								
Pruebas de seguridad eléctrica								

**Observaciones:**

---



---



---



---



---



---



---

## Anexo 2: Solicitud de mantenimiento

<b>SOLICITUD DE MANTENIMIENTO</b>		<b>MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL</b>			
HOSPITAL NACIONAL: _____		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			
SERVICIO:	TEL.:	FECHA:	HORA DE SOLICITUD:		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJO / FALLA:			Si la falla es en un equipo, identifique:		
			No. de Inventario Técnico:		
			No. de Identificación (ID):		
NOMBRE Y FIRMA DE SOLICITANTE:	SELLO DEL SERVICIO SOLICITANTE:	USO EXCLUSIVO PARA MANTENIMIENTO		No. DE ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA	
		RECIBIDA POR:			
		FECHA:			
		HORA:			
		FIRMA:			

<b>SOLICITUD DE MANTENIMIENTO</b>		<b>MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL</b>			
HOSPITAL NACIONAL: _____		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			
SERVICIO:	TEL.:	FECHA:	HORA DE SOLICITUD:		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJO / FALLA:			Si la falla es en un equipo, identifique:		
			No. de Inventario Técnico:		
			No. de Identificación (ID):		
NOMBRE Y FIRMA DE SOLICITANTE:	SELLO DEL SERVICIO SOLICITANTE:	USO EXCLUSIVO PARA MANTENIMIENTO		No. DE ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA	
		RECIBIDA POR:			
		FECHA:			
		HORA:			
		FIRMA:			

<b>SOLICITUD DE MANTENIMIENTO</b>		<b>MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL</b>			
HOSPITAL NACIONAL: _____		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			
SERVICIO:	TEL.:	FECHA:	HORA DE SOLICITUD:		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJO / FALLA:			Si la falla es en un equipo, identifique:		
			No. de Inventario Técnico:		
			No. de Identificación (ID):		
NOMBRE Y FIRMA DE SOLICITANTE:	SELLO DEL SERVICIO SOLICITANTE:	USO EXCLUSIVO PARA MANTENIMIENTO		No. DE ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA	
		RECIBIDA POR:			
		FECHA:			
		HORA:			
		FIRMA:			

### Anexo 3. Formato de orden de trabajo

<b>ORDEN DE TRABAJO</b> (Para Equipo)		MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL. HOSPITAL NACIONAL DE: _____ DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO							
Número de Orden: _____ MPP <input type="checkbox"/> MC <input type="checkbox"/> OTRO <input type="checkbox"/>		Equipo							
Servicio Solicitante		Modelo			No. Inventario Técnico:				
Nombre de solicitante/Tel.		Serie			No. de Identificación (ID):				
Fecha		Marca			Medida aplicada / última fecha				
Servicio Interno <input type="checkbox"/> Externo <input type="checkbox"/> Empresa <input type="checkbox"/>		Fabricante			Técnico Responsable				
Descripción del trabajo solicitado:						Firma y sello de autorización			
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>INFORMACIÓN TÉCNICA</b>			
Fecha	Código Técnico	Cantidad HH	Costo HH (€)	Valor (€)	Otros Costos	Total (€)	<b>Fallas Detectadas</b>	<b>Medidas Aplicadas</b>	
							<input type="checkbox"/> 1. Envejecimiento <input type="checkbox"/> 2. Desgaste <input type="checkbox"/> 3. Operación indebida <input type="checkbox"/> 4. Medio ambiente <input type="checkbox"/> 5. Construcción <input type="checkbox"/> 6. Batería <input type="checkbox"/> 7. Mala instalación <input type="checkbox"/> 8. Accesorios <input type="checkbox"/> 9. Uso <input type="checkbox"/> A. Desconocido <input type="checkbox"/> B. MPP por usuario <input type="checkbox"/> C. Cambio interno <input type="checkbox"/> D. Sin falla	<input type="checkbox"/> 1. Pr. Funcionamiento <input type="checkbox"/> 2. Pr. Seguridad <input type="checkbox"/> 3. Reparación <input type="checkbox"/> 4. MPP <input type="checkbox"/> 5. Supervisión <input type="checkbox"/> 6. Modificación <input type="checkbox"/> 7. Calibración <input type="checkbox"/> 8. Adiestramiento <input type="checkbox"/> 9. Protección radiológica <input type="checkbox"/> A. Asesoría técnica <input type="checkbox"/> B. Inventario <input type="checkbox"/> C. Fabricación/Diseño <input type="checkbox"/> D. Montaje/Desmontaje <input type="checkbox"/> E. Inspección tec. de ingreso <input type="checkbox"/> F. Descarte	
TOTAL									
<b>MATERIALES</b>									
Código	Descripción					UM	Cantidad	P Unitario (€)	Valor (€)
Para agregar más cantidad de materiales ver reverso								TOTAL	
<b>INFORME Y OBSERVACIONES DEL TECNICO</b>						<b>RECEPCIÓN DEL TRABAJO</b>			
						FECHA:		HORA:	
						NOMBRE Y FIRMA DEL ENCARGADO:		SELLO DEL SERVICIO:	
FIRMA DE TECNICO			REVISADO POR JEFE						

## Anexo 4. Historial de fallas y averías

	<b>HOSPITAL</b>		Fecha de evaluación	
	Servicio	Área		
	Nombre Supervisor Técnico			
<b>A</b>	<b>EQUIPO O APARATO A EVALUAR</b>			
	EQUIPO			
	Marca:	No. Serie		
	Modelo:	No. Inventario		
<b>B</b>	<b>CARACTERISTICAS TECNICAS</b>			
	Voltaje:	Potencia:		
	Amperaje:	Conexión a tierra:		
<b>C</b>	<b>ESTADO</b>			
	Funciona:	<b>BIEN</b>	<b>REG</b>	<b>MAL</b>
	Fecha en que dejó de funcionar:			
	Años de uso en el hospital			
	Fecha del último Mantenimiento y/o Reparación:			
	Defecto / Falla			
	Falla ocasionada por (Antecedentes):			
	Se puede reparar:			
	Necesita:	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	
	Se reparó:		SI	NO
	Necesita Reparación Especializada:		SI	NO
<b>D</b>	<b>MANUALES:</b>			
	Manual de Operaciones:		SI	NO
	Manual de Mantenimiento:		SI	NO
	Diagrama Eléctrico:		SI	NO
	Diagrama Electrónico		SI	NO
<b>E</b>	<b>UTILIZACION DEL EQUIPO</b>			
	El personal está capacitado en el uso del equipo		SI	NO

Continúa

	Necesita Capacitación especializada			SI	NO
<b>F</b>	<b>PUNTOS DE INSPECCION</b>				
	<b>Pasó</b>	<b>Falló</b>	<b>Test Cualitativo</b>	<b>Comentarios</b>	
1			Etiquetado		
2			Limpieza Exterior		
3			Accesorios y consumibles		
<b>INSPECCION ELECTRICA</b>					
4			Enchufe y Base (Polarizado)		
5			Interruptores y Fusibles		
6			Señales Audibles		
7			Protección Especial		
8			Test de Seguridad Eléctrica		
<b>INSPECCION ELECTRONICA</b>					
9			Clavija/Enchufe de Red		
10			Cable de Red		
11			Cables		
12			Terminales o conectores		
13			Tarjetas Electrónicas		
14			Controles y Teclas		
15			Indicadores y Displays		
16			Seguridades (sensor) de puerta		
17			Baterías y su Cargador		
18			Calibración		
19			Indicadores y Pantallas		

Observaciones

\_\_\_\_\_  
Firma de Responsable

\_\_\_\_\_  
Firma Coordinador



## **Anexo 6. Oxímetros reparados**

Los oxímetros que presentaban falla y se encontró repuesto en la localidad se repararon, los otros repuestos que se necesitan, hay que comprarlos sobre pedido en internet a Estados Unidos. A continuación se presenta una tabla en la cual se muestran los oxímetros reparados.

### **Reparación de oxímetros en pediatría del Hospital San Juan de Dios**

<b>No.</b>	<b>SERIE</b>	<b>MARCA</b>	<b>REPARACION</b>	<b>FALTA</b>
1	390415067	BCI	resoldar conector	fuelle
2	390415072	BCI	reparar conector	sensor
3	390415076	BCI	plug de fuente	
4	390415082	BCI	resoldar conector	sensor
5	390415093	BCI	adaptar bocina	
6	FBXH00309	Datex	rectificador	
7	FBXD02960	Datex	reparar conector	

Fuente: Departamento de Pediatría Hospital San Juan de Dios

**Anexo 7. Repuestos faltantes para la reparación de los oxímetros.**

<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>	<b>Lugar de compra</b>	<b>Precio</b>
4	Sensores 3043	A1medicalsales.com	\$690.32
3	Fuentes	A1medicalsales.com	\$150.00
1	Cable extensión	A1medicalsales.com	\$ 40.27
2	baterias	A1medicalsales.com	\$ 62.50
		Total	\$943.09

A los precios aquí descritos se les debe aumentar el costo de envío e impuestos, que varían dependiendo de la empresa que los traiga.

Además las fuentes, se pueden adaptar unas con las mismas características, pero con un precio mucho menor, encontradas en la electrónica CEF, con un valor de Q 115.00.

