



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

*DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL  
REGISTRO DE ACTIVIDAD CARDIACA Y  
TEMPERATURA CORPORAL*

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

**P R E S E N T A N:**

**MARIO EDUARDO CRUZ GARCÍA**

**OCTAVIO COLÍN CORTÉS**

**DIRECTOR DE LA TESIS:**

**M. I. JUAN MANUEL GÓMEZ GONZÁLEZ**

**MÉXICO, D.F. 2105**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos**

*A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por darme la formación necesaria para llegar aquí.*

*A mis padres, por confiar siempre en mí, por apoyarme en todos los sentidos y darme cuanto les ha sido posible para lograr mis metas, es decir, todo.*

*A mi hermana, por apoyarme cuando fue necesario, por ser un ejemplo para mí y una excelente amiga.*

*A Norberto, por todos los buenos momentos, las risas, por acompañarme durante todo el trayecto y ser el mejor amigo que pude haber tenido.*

*A Ulis, por ser mi amiga incondicional, por creer siempre en mí, darme confianza, impulsarme, acompañarme y por ser mi inspiración.*

Mario Eduardo

---

*A mis compañeros, maestros y amigos;  
pero sobre todo a mi familia, que gracias a su apoyo incondicional,  
me ha ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.*

*Muchas Gracias.*

Octavio



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



## ÍNDICE

<b>I. Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>II. Marco teórico.....</b>	<b>2</b>
2.1 <i>Metabolismo humano.....</i>	2
2.2 <i>Temperatura y Termorregulación.....</i>	4
2.3 <i>Corazón y sistema cardiovascular.....</i>	8
2.4 <i>Pulso cardiaco.....</i>	9
2.5 <i>Diabetes.....</i>	13
2.5.1 <i>Prevención.....</i>	14
2.5.2 <i>Estudio del paciente.....</i>	15
2.5.3 <i>Objetivos del tratamiento.....</i>	16
<b>III. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>19</b>
<b>IV. Objetivos.....</b>	<b>21</b>
<b>V. Materiales y métodos.....</b>	<b>22</b>
5.1 <i>Controlador y microcontrolador.....</i>	22
5.1.1 <i>Arquitectura básica.....</i>	27
5.1.2 <i>Ventajas del uso de microcontroladores.....</i>	28
5.2 <i>Atmega328.....</i>	29
5.3 <i>Sensor de temperatura.....</i>	32
5.4 <i>Sensor de pulso.....</i>	34
5.5 <i>Alimentación del dispositivo.....</i>	37
5.6 <i>Etapas de funcionamiento del dispositivo.....</i>	38
<b>VI. Construcción del prototipo.....</b>	<b>41</b>
<b>VII. Validación y resultados.....</b>	<b>43</b>
7.1 <i>Validación del sensor de temperatura.....</i>	43
7.2 <i>Validación del sensor de pulso.....</i>	48
<b>VIII. Conclusiones.....</b>	<b>50</b>
<b>IX. Trabajo futuro.....</b>	<b>52</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>53</b>



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal

---



## I. Resumen

En este trabajo de tesis se presenta el diseño y desarrollo de un sistema portátil de registro y almacenamiento de temperatura corporal y frecuencia cardiaca, elaborado en el Laboratorio de Ingeniería Biomédica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Se aborda la prueba e implementación de diferentes sensores y de un microcontrolador, los cuales en conjunto permiten registrar y almacenar datos en una unidad de almacenamiento externa para su posterior estudio.

El dispositivo desarrollado es capaz de almacenar una gran cantidad de datos durante largos periodos de tiempo, permitiendo así su posterior estudio por un médico y permitiendo también un monitoreo más eficaz de pacientes diagnosticados con diabetes.



## II. Marco teórico

### 2.1 *Metabolismo humano.*

La palabra metabolismo de origen griego (meta-, más allá; y -bol, cambio), se refiere a la cualidad que tienen los seres vivos para cambiar químicamente la naturaleza de las sustancias ingeridas. Existen dos tipos de metabolismo: catabolismo y anabolismo.

El catabolismo es el proceso que degrada moléculas orgánicas complejas en compuestos más simples durante las reacciones químicas; en general, las reacciones catabólicas o de descomposición, son aquellas que generan más energía de la que consumen y liberan la energía química acumulada en las moléculas orgánicas.

El anabolismo ocurre cuando las reacciones químicas que unen moléculas simples y monómeras crean los componentes estructurales y funcionales complejos del cuerpo; las reacciones anabólicas consumen más energía que la que producen.

En general podemos resumir el metabolismo como el equilibrio energético que existe entre las reacciones catabólicas o de descomposición y las reacciones anabólicas o de síntesis.

Dependiendo de la velocidad de las reacciones metabólicas en el cuerpo humano, este genera más o menos calor.

El calor es una forma de energía que se mide como temperatura y las unidades en las que se expresa son las calorías. Una caloría (cal) es la cantidad de calor necesario para aumentar la temperatura de 1 gramo de agua en 1°C; la caloría es una unidad relativamente pequeña. Con frecuencia se usa la kilocaloría (Kcal, 1000 calorías) o Caloría (Cal, siempre con c mayúscula) para cuantificar el índice metabólico corporal y para expresar la energía contenida en los alimentos.<sup>[1]</sup>



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



## *Índice metabólico*

El índice metabólico es la velocidad global a la que se utiliza la energía en las reacciones metabólicas. La obtención de calor es proporcional al índice metabólico y existen varios factores que afectan el índice metabólico, por lo tanto la producción de calor.

### *Factores que afectan el índice metabólico*

- Ejercicio: El índice metabólico durante la actividad física puede aumentar hasta 15 veces en una persona promedio y en los deportistas bien entrenados puede incrementarse hasta 20 veces más.

-Temperatura corporal: El índice metabólico es mayor cuanta más alta es la temperatura corporal. Cada grado centígrado de incremento de la temperatura central la velocidad de las reacciones bioquímicas se incrementa alrededor del 10%; como consecuencia, el índice metabólico puede aumentar significativamente durante los episodios febriles.

-Ingestión de comida: La ingestión de alimentos incrementa el índice metabólico entre 10 y 20% debido a la energía consumida durante la digestión, la absorción y el almacenamiento de nutrientes. Este efecto de producción de calor provocado por el consumo de alimentos es mayor después de ingerir una comida rica en proteínas y menor después de la ingestión de alimentos ricos en hidratos de carbono y lípidos.

-Edad: En relación con su tamaño, el índice metabólico de un niño es alrededor de dos veces mayor que el de una persona de edad avanzada, debido a las grandes velocidades de las reacciones relacionadas con el crecimiento.

-Otros Factores: Otros factores que afectan el índice metabólico son el sexo (menor en mujeres, excepto durante el embarazo y la lactancia), el clima (menor en regiones tropicales), el sueño (menor) y la desnutrición (menor).

## 2.2 Temperatura y Termorregulación

El hipotálamo es el encargado de controlar la temperatura corporal, este recibe dos tipos de señales, una proveniente de los receptores de calor y frío que vienen de los nervios periféricos y otra de la temperatura de la sangre que irriga la región. En una temperatura ambiente neutral, el metabolismo humano genera siempre más calor de lo necesario, esto con la finalidad de mantener la temperatura corporal entre 36.5 y 37.5 °C.<sup>[1][2]</sup>

La temperatura corporal se puede clasificar en dos partes; la temperatura central o de núcleo y la temperatura superficial. La primera es la temperatura procedente de la cabeza, cavidad torácica y cavidad abdominal, se mide temperatura rectal, esofágica, de membrana, timpánica y sanguínea, utilizando termómetros de profundidad. La segunda es la temperatura proveniente de la piel, tejido celular subcutáneo, tejido adiposo blanco y masa muscular, se mide generalmente en la axila con termómetros superficiales y profundos.

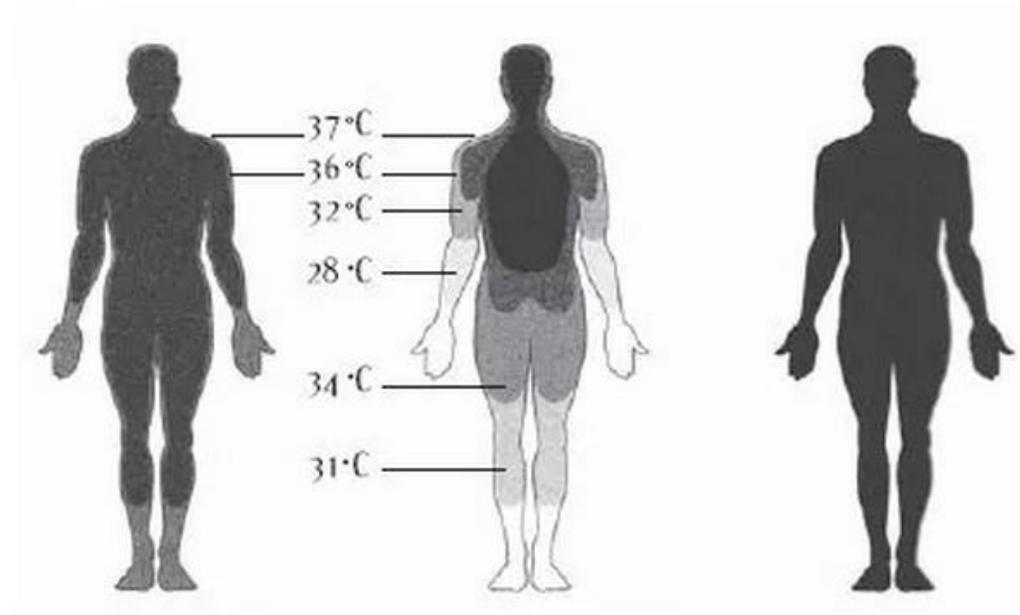


Figura 1. Temperatura corporal según la temperatura ambiental.<sup>[3]</sup>

La figura de la izquierda muestra la temperatura corporal en un ambiente reconfortante, se puede diferenciar la zona central y la zona superficial. La figura central muestra la temperatura corporal cuando el cuerpo se expone al frío ( $20^{\circ}\text{C}$ ), se puede visualizar una reducción de la zona central. La figura de la derecha muestra el cuerpo humano expuesto al calor ( $>40^{\circ}\text{C}$ ) o fiebre, se puede observar un crecimiento de la zona central hasta la zona superficial.

El organismo humano es considerado homeotermo, esto quiere decir que la temperatura corporal central se mantiene constante a pesar de los cambios de la temperatura ambiente.

En condiciones normales y tomando en consideración las variaciones ambientales de temperatura, el organismo conserva la temperatura normal porque el hipotálamo compensa el exceso de producción de calor derivado de la actividad metabólica en los músculos y el hígado con la pérdida de calor generada a partir de la piel y los pulmones.

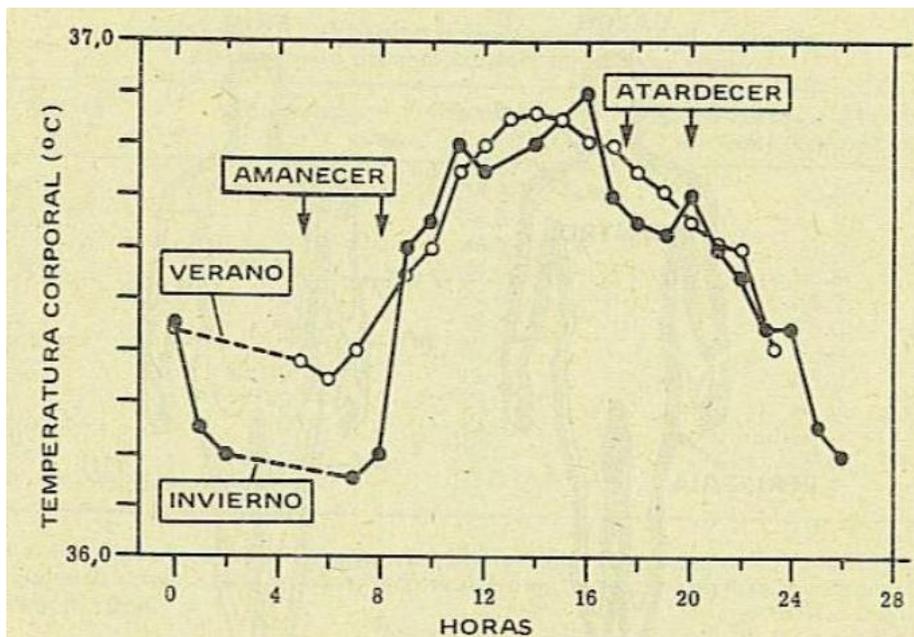


Figura 2. La grafica muestra el ritmo circadiano de la temperatura corporal.<sup>[3]</sup>



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



El cambio normal típico de la temperatura es de  $0.5^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, en algunas personas en etapa de recuperación de una enfermedad febril, esta variación diaria puede llegar a ser de hasta  $1.0^{\circ}\text{C}$ .

El proceso biológico mediante el cual el cuerpo humano genera calor a través de la quema de grasa es llamado termogénesis. Dicho proceso persigue dos objetivos: mantener la temperatura en el cuerpo humano y disipar energía para mantener el peso corporal. Asimismo, el proceso mediante el cual se pierde calor es llamado termólisis.<sup>[1]</sup>

<i>Termogénesis: Producción de calor.</i>	<i>Termólisis: Pérdida de calor.</i>
-Metabolismo	-Conducción
-Actividad Física (Ejercicio)	-Convección
-Efecto térmico de los alimentos(ETA)	-Irradiación
-Escalofrío	-Evaporación
	-Sudoración

Tabla 1. Estabilización de temperatura corporal.



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



<i>Termogénesis Obligatoria</i>		<i>Termogénesis Facultativa</i>	
Esencial y endotérmica	Ocurre en todos los órganos	Termogénesis por actividad física	Musculo Esquelético
Efecto térmico de los alimentos	Intestino, hígado	Termorreguladora -Inducido por frio (escalofrió) -Inducido por frio sin escalofrió Termogénesis inducido por la dieta	Musculo

Tabla 2. Categorías de termogénesis. [1]

<i>Órgano</i>	<i>Masa corporal</i>	<i>Producción de calor %</i>	
		<i>Reposo</i>	<i>Ejercicio</i>
Cerebro	2%	16%	1%
vísceras	34%	56%	8%
Músculo y piel	56%	18%	90%
Otras	8%	10%	1%

Tabla 3. Tasa de producción de calor en reposo y ejercicio en diversos órganos. [3]



## *Fiebre*

La fiebre es un incremento de la temperatura corporal que rebasa la variación diaria normal, en la mayor parte de los casos, la temperatura corporal aumenta de 1 a 2°C.

### **2.3 Corazón y el sistema cardiovascular**

El corazón puede ser visto como una bomba de dos etapas, derecha e izquierda, colocadas físicamente en paralelo y atravesándolas se encuentra el torrente sanguíneo, cuya ubicación está en serie. La parte derecha es la encargada de suministrar sangre a los pulmones para que se oxigene, y la parte izquierda entrega sangre al resto del cuerpo.

Las vías por donde circula la sangre a través de los pulmones se le llama circulación pulmonar, y el sistema circulatorio que reparte oxígeno y alimentos a las células del organismo, se le conoce como circulación mayor.

El bombeo se realiza mediante la contracción de los músculos que rodean cada cavidad del corazón. Estos músculos reciben sangre a través de las arterias coronarias que rodean al corazón. En la figura 3 se ilustra el sistema fisiológico del corazón.

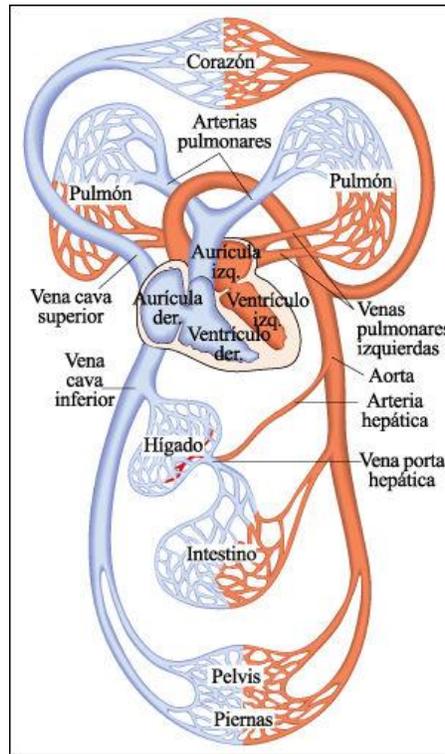


Figura 3. El sistema cardiovascular.

El ciclo de bombeo del corazón se realiza en dos fases: sístole y diástole. La sístole es la fase de contracción de los músculos del corazón, particularmente los músculos del ventrículo, en esta fase se bombea sangre a la arteria pulmonar y a la aorta. En la diástole se realiza la dilatación de las cavidades del corazón en la cual se llenan de sangre.

Después de que se ha bombeado la sangre a la red arterial, el corazón se relaja, la presión en las cavidades disminuye, las válvulas de salida se cierran y después de un tiempo las válvulas de entrada se vuelven a abrir para volver a empezar con la diástole e iniciar nuevamente el ciclo cardiaco. [2]

## 2.4 Pulso Cardiaco

Se le denomina pulso al número de latidos, pulsos o contracciones cardiacas por minuto.



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



El corazón late con un ritmo promedio de 75 latidos por minuto en una persona adulta normal, aunque este valor puede variar considerablemente. El corazón bombea unos 5 litros de sangre por minuto.

	<i>Edad</i>	<i>Pulsos por minuto</i>
<i>Recién nacidos</i>	0-1 meses de edad	70 a 190 latidos por minuto
<i>Bebés</i>	1-11 meses de edad	80 a 160 latidos por minuto
<i>Niños</i>	1 a 2 años de edad	80 a 130 latidos por minuto
<i>Niños</i>	3 a 4 años de edad	80 a 120 latidos por minuto
<i>Niños</i>	5 a 6 años de edad	75 a 115 latidos por minuto
<i>Niños</i>	7 a 9 años de edad	70 a 110 latidos por minuto
<i>Niños de 10 años o más y adultos (incluso)</i>		60 a 100 latidos por minuto
<i>Atletas bien entrenados</i>		40 a 60 latidos por minuto

Tabla 4. Frecuencia cardiaca de acuerdo a la edad <sup>[4]</sup>

En promedio, en niños las pulsaciones por minuto son 140, en adultos 70-80 y ancianos 60 o menos.



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



## *Anomalías en la frecuencia cardiaca*

- Taquicardia: frecuencias cardiacas altas en reposo.
- Bradicardia: frecuencias cardiacas por debajo de los normal, en reposo.

El médico debe revisar un pulso que sea muy firme (pulso saltón) y que dure más de unos cuantos minutos. Un pulso irregular también puede ser indicio de un problema.

Un pulso que es difícil de localizar puede significar que hay obstrucción en la arteria. Estas obstrucciones son frecuentes en personas con diabetes o aterosclerosis a raíz del colesterol alto. El médico puede ordenar un examen, conocido como estudio Doppler, para evaluar las obstrucciones. [4]

El pulso se puede palpar en:

- Las rodillas (parte posterior).
- La ingle.
- El cuello.
- La sien.
- El pie (parte alta o la parte interna del pie).[4]

Es muy importante también la técnica de medida, el procedimiento que se recomienda seguir, para evitar errores en la medida y para que los valores obtenidos sean comparables, es el siguiente:

- Medir la Frecuencia Cardiaca en condiciones de reposo, en un lugar con temperatura ambiente entre 20 y 24°C y en posición sentada.
- Realizar la medida de la frecuencia cardiaca mediante palpación física durante un minuto antes de realizar la medida de la presión sanguínea.
- Repetir dos veces la medición y calcular el valor promedio.

A continuación se muestran las principales zonas del cuerpo donde se puede medir con mayor precisión el pulso arterial.



*Figura 4. Pulso radial [5]*



*Figura 5. Pulso poplíteo [5]*



*Figura 6. Pulso pedio [5]*



*Figura 7. Pulso tibial posterior. [5]*

La presión sistólica (máxima) en una persona adulta normal es de 95 a 140 mm de Hg, considerando esto el valor medio es de 120 mm de Hg. La presión diastólica normal (la presión más baja entre latidos) se encuentra entre 60 y 90 mm de Hg, siendo el valor medio de 80 mm de Hg, esta presión normalmente se mide en la



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



arteria braquial del brazo. Estos valores no son fijos, pueden presentar variaciones debidas a la edad, el clima, la alimentación y otros factores. [4]

### **2.5 Diabetes**

La diabetes o diabetes mellitus es una enfermedad que engloba diferentes trastornos metabólicos, debidos a una relación entre factores genéticos y ambientales, los cuales desencadenan la hiperglucemia, que es el aumento de glucosa en la sangre.

El desorden de la regulación metabólica que asocia a la diabetes mellitus produce variaciones fisiopatológicas secundarias en muchos sistemas orgánicos, y significa una pesada carga para la persona que lo padece y para el sistema sanitario de un país. En la mayoría de los casos la diabetes mellitus provoca enfermedades cardiovasculares; debido al aumento de casos de esta enfermedad alrededor del mundo, la OMS la ha clasificado como una de las primeras causas de morbilidad y mortalidad en el mundo y en el futuro próximo. [6]

La diabetes mellitus se clasifica debido a aquel elemento o medio capaz de producir la enfermedad, que desencadena la hiperglucemia. Las dos categorías más amplias que comprenden a la diabetes mellitus, se denominan como diabetes tipo 1 y tipo 2; estos dos tipos son precedidos por un periodo de metabolismo anómalo de glucosa. La diabetes tipo 1 es producto de la insuficiencia completa de insulina, y la tipo 2 se caracteriza por tener niveles de resistencia a la insulina, menor segregación de esta hormona y una mayor obtención de glucosa; la diabetes mellitus del tipo 1 se produce con más frecuencia antes de los 30 años, aunque esto no descarta la posibilidad de que se presente a una edad mayor, de hecho, se calcula que entre 5 y 10% de las personas que padecen diabetes después de los 30 años tienen del tipo 1. De modo similar, aunque es más común



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



el desarrollo de diabetes de tipo 2 con el paso de los años, también se presenta en niños, en particular aquellos que padecen obesidad. <sup>[6]</sup>

El crecimiento mundial de la diabetes mellitus ha incrementado impresionantemente en los últimos 20 años; en 1985 se estimaba que había 30 millones de casos, mientras que para el año 2000 se calculó que había 177 millones, si el crecimiento continúa como hasta ahora, para el año 2030 habrá más de 360 millones de casos de diabetes mellitus. La diabetes tipo 2 es la que crece con mayor rapidez, debido al incremento de casos de obesidad y a la disminución de la actividad física; sumado a todo esto, la diabetes tiende a presentarse con mayor frecuencia con el envejecimiento, se calcula a nivel mundial que para el año 2030 el número de diabéticos tendrán entre 45 a 64 años de edad. <sup>[6][7]</sup>

### **2.5.1 Prevención**

La probabilidad de que aparezca diabetes mellitus tipo 1 aumenta 10 veces en parientes de personas con la enfermedad, pero el riesgo es relativamente pequeño: 3 a 4% si el padre tiene diabetes de tipo 1 y 5 a 15% en un hermano. <sup>[1]</sup>

Las personas con fuertes antecedentes familiares, quienes se encuentran en alto riesgo de desarrollar diabetes mellitus tipo 2 y los individuos que tienen intolerancia a la glucosa, deben ser rígidas en la conservación de un índice de masa corporal normal y en la realización frecuente de actividad física. <sup>[6]</sup>

El Diabetes Prevention Program demostró que los cambios intensivos en el tipo de vida (dieta y ejercicio durante 30 minutos al día, cinco veces a la semana) de las personas con intolerancia a la glucosa previnieron o retrasaron el desarrollo de la diabetes tipo 2. <sup>[6][8]</sup>

La hipertensión acelera otras complicaciones de la diabetes, en particular la alteración cardiovascular y la nefropatía (daño o enfermedad del riñón). El



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



tratamiento, orientado hacia el objetivo de lograr presión arterial menor de 130/80, en primer lugar debe insistir en cambios en el estilo de vida, como pérdida de peso, realización de ejercicio, corrección de estrés y bajo consumo de sodio.

### **2.5.2 Estudio del paciente**

La diabetes mellitus y sus complicaciones provocan una amplia variedad de síntomas y signos; los que se deben a la hiperglucemia aguda pueden presentarse en cualquier fase de la enfermedad, mientras que los relacionados con las complicaciones habituales empiezan a aparecer durante la segunda década de la hiperglucemia.

Se debe realizar un historial médico completo con especial hincapié en aspectos de importancia en la diabetes como peso, antecedentes familiares de diabetes y sus complicaciones, factores de riesgo cardiovascular, antecedentes médicos, ejercicio, tabaquismo y consumo de alcohol. Las modificaciones metabólicas están relacionadas fundamentalmente con la hiperglucemia y con el estado catabólico del paciente.

En un paciente con diabetes establecida, la valoración inicial debe hacer énfasis en la atención previa a la diabetes, como tipo de dieta, evaluación de los conocimientos del paciente sobre su enfermedad, ejercicio, y nutrición. Las complicaciones crónicas pueden afectar varios aparatos y sistemas, y un paciente puede presentar todos, alguno o ningún síntoma relacionado con las complicaciones de la diabetes mellitus.

Además de realizar una exploración física completa, se debe prestar mucha atención a los aspectos de importancia en la diabetes como peso corporal o índice de masa corporal, exploración de la retina, presión arterial ortostática (hipotensión arterial), exploración del pie, pulsos periféricos y lugares de inyección de insulina.<sup>[6]</sup>



## 2.5.3 Objetivos del tratamiento

Los objetivos del tratamiento de la diabetes mellitus de tipo 1 o 2 son:

- 1) eliminar los síntomas relacionados con la hiperglucemia
- 2) reducir o eliminar las complicaciones de microangiopatía o macroangiopatía (alteración de los capilares, arterias y venas de todo el organismo) a largo plazo.
- 3) permitir al paciente un modo de vida tan normal como sea posible.

Para lograr estos objetivos, el médico debe identificar una meta de control glucémico en cada paciente, dar a este los recursos de educación y fármacos para lograr este nivel, y vigilar y tratar las complicaciones relacionadas con la diabetes.

La atención del paciente con diabetes de tipo 1 o 2 requiere un equipo interdisciplinario. Para el éxito de este equipo es fundamental la participación del paciente, sus aportaciones y su entusiasmo, todos ellos esenciales para un tratamiento óptimo de la diabetes. [6]

“Aunque el control de la glucemia es fundamental en el tratamiento óptimo de la diabetes, la atención integral tanto del tipo 1 como del tipo 2 debe detectar y tratar las complicaciones específicas de la enfermedad y modificar los factores de riesgo de las enfermedades asociadas a la diabetes mellitus. Además de los aspectos físicos de la diabetes mellitus pueden tener también un impacto en la asistencia de esta enfermedad otros de tipo social, familiar, económico, cultural y laboral. El control de la glucemia mejora gracias al contacto frecuente entre la persona y el grupo encargado del tratamiento de la enfermedad (medios electrónicos, teléfono y otros elementos).” [6]

El ejercicio tiene varios beneficios, entre ellos la disminución del riesgo cardiovascular, descenso de la presión arterial, preservación de la masa muscular, disminución de la grasa corporal y pérdida de peso. En los diabéticos de tipo 1



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



como los diabéticos de tipo 2, la actividad física resulta útil para la reducción de la glucosa plasmática (durante la actividad física y después de esta) e incrementar la sensibilidad a la insulina. Se recomienda que los pacientes cada semana, realicen 150 min de ejercicio aeróbico, distribuidos como mínimo en tres días.<sup>[6]</sup>

<i>Tratamiento de la diabetes</i>		
Control glucémico	Tratamiento de trastornos asociados	Detección y tratamiento de las complicaciones de la diabetes.
-Dieta y estilo de vida	-Hipertensión	-Retinopatía
-Ejercicio	-Obesidad	-Enfermedad cardiovascular
-Medicación	-Coronariopatía	-Nefropatía y otras complicaciones

*Tabla 4. Tratamiento de la diabetes.*

El músculo esquelético es un área importante de gasto de combustible metabólico en reposo, y con el incremento de la actividad muscular durante el ejercicio aeróbico enérgico las necesidades de combustible se incrementan. Los diabéticos de tipo 1 son susceptibles tanto a la hiperglucemia como a la hipoglucemia durante la actividad física, dependiendo de las concentraciones de glucosa plasmática previas al ejercicio y las cantidades de insulina.



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal

---



El control de la glucosa se debe personalizar, y el médico que observe al paciente debe establecer las metas del tratamiento junto con él, después de considerar varios aspectos médicos, sociales y del tipo de vida. Los elementos importantes que se deben tener en cuenta son la edad del paciente, su capacidad de comprender y poner en práctica un tratamiento complejo, existencia y gravedad de complicaciones de la diabetes, habilidad para identificar los síntomas de la hiperglucemia y la presencia de otras enfermedades o tratamientos que puedan alterar la respuesta al tratamiento, estilo de vida, ocupación y nivel de apoyo por parte de la familia y amigos.

Con la constante realización de actividad física, el paciente, desde el punto de vista psicológico experimenta un mayor control sobre su diabetes y en muchas ocasiones percibe un aumento en la sensación de bienestar, una mayor flexibilidad en el horario y la constitución de las comidas, y la capacidad de cambiar la dosis de insulina.

Como en cualquier enfermedad crónica y debilitante, el diabético se enfrenta a una serie de desafíos que afectan todos los aspectos de la vida diaria. El paciente debe considerarse a sí mismo un miembro esencial del equipo de tratamiento, y no el objeto de los cuidados del equipo. El estrés emocional puede provocar modificaciones de conducta, de forma que el sujeto deje de cumplir la dieta, la actividad física o el régimen de tratamiento. [6]



### III. Planteamiento del problema

Según la secretaría de salud 10.6 millones de mexicanos padece diabetes, esperando que para el 2030 la cifra aumente a 16.3 millones, por lo que se hace importante contar con herramientas de seguimiento dirigidas a este sector de la población. Para realizar dicho seguimiento sobre los pacientes, es necesario incluir la actividad física realizada y, a partir de ello, determinar los requerimientos energéticos provistos por la dieta, ya que actualmente el médico basa sus recomendaciones en los datos recabados de forma oral por los propios pacientes, los cuales pueden llegar a ser poco precisos al informar a su médico.

Un informe presentado en 2008, dio a conocer que el 12% de las consultas diarias del médico familiar están relacionadas con la diabetes mellitus, lo cual implica, además de un gasto económico, una sobrecarga del sistema de salud de negativas consecuencias tanto para el sistema como para la atención del paciente diabético.<sup>[9]</sup>

Diversos factores influyen en esta situación. Las complicaciones de la enfermedad metabólica se manifiestan en numerosos padecimientos simultáneos cuyo tratamiento se aborda en ocasiones desde diferentes enfoques y especialidades, lo cual dificulta notablemente las terapias establecidas.

De cada 100 personas con diabetes, 14 presentan alguna complicación renal. 2 de cada 5 pacientes comienzan a perder la vista. La diabetes es la principal causa de ceguera en edad productiva. 30% de los problemas de pie diabético termina en amputación.<sup>[10]</sup>

La necesidad de diversos especialistas responsables del abordaje terapéutico en ocasiones dificulta la coordinación y el seguimiento de pacientes.

Por otro lado, en muchos casos, la edad de los diabéticos hace más difícil el conocimiento de la enfermedad, así como sus complicaciones y sus riesgos, tales



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



como la comprensión de las dosis y pautas de la terapia farmacológica y las instrucciones de la dieta y de modificación del estilo de vida.

Para ayudar al médico en el seguimiento de los pacientes diagnosticados con diabetes se requiere de un sistema portátil, que sea capaz de registrar durante periodos de al menos una semana el ritmo cardiaco y la temperatura corporal, permitiendo conocer de una manera más confiable y exacta el metabolismo del paciente.

En la actualidad la diabetes mellitus se ha convertido en un problema de salud pública a nivel mundial, de acuerdo con la Federación Internacional de Diabetes, China, India, Estados Unidos, Brasil, Rusia y México, son, en ese orden, los países con mayor número de diabéticos ( estadísticas 2012) <sup>[11]</sup>

Desde el 2000, la diabetes es la principal causa de muerte en México, ocasionando el 17.2% de las muertes. Cada hora se diagnostican 38 nuevos casos de diabetes y cada dos horas mueren 5 personas a causa de complicaciones originadas por la diabetes.<sup>[10]</sup>

En los últimos 6 años, medio millón de mexicanos murieron por esta enfermedad.



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



## IV. Objetivos

### *Objetivo general*

Diseñar un sistema portátil que permita mantener un seguimiento por largos periodos de tiempo del ritmo cardíaco y la temperatura corporal de un paciente diagnosticado con diabetes.

### *Objetivos particulares*

A partir del diseño y la implementación de sensores especializados de bajo consumo de energía se implementará un sistema de registro de la temperatura corporal y el ritmo cardiaco de un paciente durante periodos largos de tiempo, los cuales se han establecido en un mínimo de dos días, basándonos en la comodidad y la confiabilidad de los datos entregados por el sistema portátil. Dicho sistema enviará la información recabada a una herramienta auxiliar de almacenamiento (de muy alta capacidad) de datos.

Todo el sistema estará controlado por sistemas electrónicos de bajo consumo de energía, permitiendo así el registro prolongado e ininterrumpido de la información de interés antes mencionada.



## V. Materiales y métodos

### 5.1 Controlador y Microcontrolador.

Un controlador es un dispositivo que se utiliza para administrar uno o varios procesos. Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que une la mayor parte de los elementos que componen un controlador.<sup>[12]</sup>

Un microcontrolador se compone de los siguientes elementos principalmente:

- *El procesador o UCP*

Es el elemento dentro del microcontrolador más importante que determina sus principales características a nivel de hardware y software.

Existen tres tipos de orientaciones de la arquitectura y funcionamiento de los procesadores actuales.

CISC: (Complex Instruction Set Computing) Cuenta con más de 80 instrucciones maquina en su catálogo, algunas de las cuales son muy complejas y potentes, las cuales requieren muchos ciclos para su ejecución.

RISC: (Reduced Instruction Set Computing) En estos procesadores el catálogo de instrucciones maquina es muy reducido y las instrucciones son sencillas y, generalmente, se ejecutan en un ciclo.

SISC: Los microcontroladores que están destinados para tener una aplicación más específica, utilizan la configuración SISC (Simple Instruction Set Computing), el conjunto de instrucciones, es reducido y específico, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación deseada.



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



### - *Memoria*

Dentro de los microcontroladores, la memoria de instrucciones y datos están integradas en el chip. Una parte de la memoria debe ser de tipo ROM, y está destinada a almacenar el programa de instrucciones que dirige la aplicación. Otro tipo de memoria debe ser de tipo RAM, la cual es utilizada para guardar las variables y los datos.

### - *Puertos de Entrada/Salida*

La principal utilidad de las terminales que tiene un encapsulado que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de Entrada/Salida que comunican al chip con algún circuito externo o con el mismo microcontrolador.

Dependiendo de los controladores de periféricos que tenga cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a dar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

Las líneas digitales de los puertos pueden configurarse como Entrada o como salida cargando un 1 o un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

### - *Temporizadores o timers*

Se utilizan para controlar periodos de tiempo (Temporizadores) y para contar acontecimientos que suceden en el exterior (contadores).

Para poder realizar el conteo de tiempo se carga un registro con el valor adecuado y luego ese valor se va incrementado o decrementando al ritmo de los impulsos de reloj, esto hasta que se desborde y llegue a 0, momento en el que se produce un aviso.



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



### - *Puertos de comunicación.*

Los microcontroladores tienen la capacidad de comunicarse con otros dispositivos externos, con otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y protocolos, algunos modelos cuentan con los siguientes recursos para lograrlo:

- a) UART, adaptador de comunicación serie asíncrona.
- b) USART, adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona.
- c) Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.
- d) USB (universal serial bus), que es un moderno bus serie para los PC.
- e) Bus I<sup>2</sup>C, que es un interfaz serie de dos hilos creado por Philips.

### - *Perro de guardia o Watchdog*

El perro de guardia es un temporizador que cuando se desborda y pasa por 0, provoca un reset automático en el sistema. Se debe diseñar un programa para que el watchdog se refresque o se inicialice antes de que se provoque nuevamente un reset.

### - *Estado de reposo o de bajo consumo*

Son muy comunes las situaciones en las que el microcontrolador debe esperar sin hacer nada, hasta que algún acontecimiento externo lo ponga a funcionar nuevamente. Para ahorrar energía, que es un factor importante en los aparatos portátiles, los microcontroladores tienen una instrucción especial (sleep), que los lleva a un estado de reposo o de bajo consumo, en donde la potencia requerida es mínima. En este estado el reloj principal se detiene y se congelan sus circuitos



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



asociados, al activarse una interrupción provocada por el suceso esperado, el microcontrolador se despierta y continúa con su trabajo.

- *Protección ante fallo de alimentación o Brownout.*

El brownout es un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación es menor al voltaje de referencia brownout, mientras esto suceda siempre el sistema permanecerá reseteado, si el voltaje de alimentación sea mayor al de brownout el dispositivo funcionara normalmente.

- *Convertidor A/D*

Los microcontroladores que incluyen un convertidor A/D (analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, y suelen tener un multiplexor que permite proporcionar a la entrada del CAD diversas señales analógicas desde los pines del circuito integrado.

- *Convertidor D/A*

Esta característica de los microcontroladores permite transformar los datos digitales obtenidos del procesamiento del dispositivo en una señal analógica que saca al exterior por uno de los puertos del microcontrolador.

- *Comparador analógico*

Algunos microcontroladores tienen un amplificador operacional, que puede comparar una señal de referencia y otra variable que entra por uno de los pines del encapsulado. La salida proporciona un nivel lógico de 1 o 0 dependiendo de que la señal sea mayor o menor que la otra.

- *Modulador por ancho de pulsos o PWM*

Son circuitos que proporcionan en su salida pulsos de frecuencia variable, que salen de los puertos del microcontrolador.



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



- *Generador de pulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.*

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que produce una onda cuadrada de alta frecuencia, que ordena los impulsos de reloj utilizados en la sincronización de todas las operaciones del sistema.

Comúnmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y solo se necesitan pocos elementos exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Estos componentes normalmente son un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un circuito R-C.

Incrementar la frecuencia de reloj, consiste en disminuir el tiempo en que se realizan las instrucciones del programa, sin embargo, esto implica un incremento del consumo de energía.

- *Lenguajes de programación*

Existen varios tipos de lenguajes de programación para los microcontroladores, pero los más usados son el Ensamblador, el BASIC y el C.

El microcontrolador es capaz de entender exclusivamente el lenguaje binario grabado en la memoria. El lenguaje Ensamblador, que utiliza nemónicos comprensibles, es una forma de mayor comprensión para el usuario al escribir el programa.

Los programas escritos en ensamblador son compactos y rápidos, sin embargo si no están bien elaborados, resultarán de gran tamaño y serán muy lentos.

Los intérpretes son programas que están dentro del microcontrolador y permiten la ejecución del programa línea a línea.



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



Los compiladores son programas encargados de traducir el programa de trabajo escrito en cualquier lenguaje a código máquina para luego grabarlo en la memoria del microcontrolador y ejecutarlo.

- *Grabadores o programadores*

Es necesario tener un grabador, que es un dispositivo que cuenta con una base libre sobre el cual se coloca el circuito integrado que se va a grabar, el control de la grabación se realiza desde una pc que tiene el software adecuado, este se encarga de escribir el programa que se requiere para la aplicación en la memoria ROM.<sup>[12]</sup>

## 5.1.1 Arquitectura básica

Inicialmente todos los microcontroladores tomaron la arquitectura clásica de Von Neumann, pero con el paso del tiempo se impuso la arquitectura Harvard.

La principal característica de la arquitectura de Von Neumann, es el uso de una sola memoria principal donde se guardan instrucciones y datos de forma indistinta. A esta memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).<sup>[12]</sup>

### ARQUITECTURA VON NEUMANN

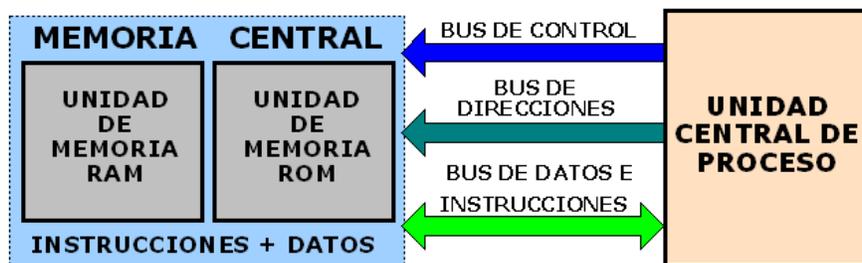


Figura 8. En la arquitectura von Neumann la memoria contiene indistintamente datos e instrucciones. <sup>[13]</sup>

La arquitectura Harvard cuenta con dos memorias independientes, una, que solo contiene instrucciones y otra que solo tiene datos. Ambas memorias disponen de sus correspondientes sistemas de buses de accesos y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.

## ARQUITECTURA HARVARD

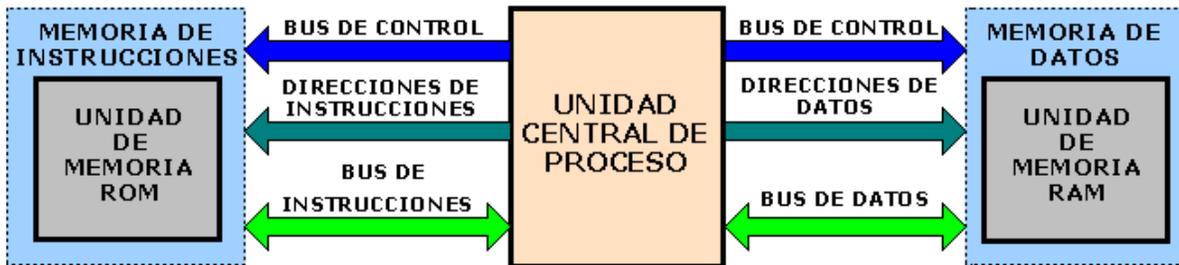


Figura 9. La arquitectura Harvard tiene dos memorias independientes para datos y una para instrucciones, con accesos simultáneos. [13]

### 5.1.2 Ventajas del uso de microcontroladores

Los diferentes modelos existentes permiten escoger el más adecuado para las diferentes aplicaciones específicas. Los productos que para su reglamentación utilizan un microcontrolador cuentan con las siguientes ventajas:

- 1.-Aumento de rendimiento: incremento en la potencia, reducción de consumo energético y mejoramiento del funcionamiento general del sistema.
- 2.-Incremento de la fiabilidad: al reemplazar el número de elementos electrónicos por un microcontrolador, disminuye el riesgo de desperfectos y se realizan menos calibraciones.
- 3.-Disminución de tamaño en el diseño terminado: El uso del microcontrolador en un circuito disminuye el volumen, la mano de obra y reserva o stock.



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



4.- Mayor flexibilidad: debido a que los elementos de control son programados, la modificación de estas solo se realiza a nivel de código de programación, lo cual nos da un importante acomodo a las circunstancias como también una gran rapidez en la implementación de posibles cambios.<sup>[12]</sup>

## 5.2 ATmega328

El microcontrolador utilizado para el prototipo es el ATmega328 fabricado por Atmel®, el cual tiene las siguientes características:

- Voltaje de operación: 5V
- Voltaje de entrada (recomendado) 7-12 V
- Voltaje de entrada (límite) 6-20 V
- 32 Kbytes de memoria Flash (2 KB para el bootloader)
- 1 Kbyte de memoria RAM
- EEPROM 512 byte
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- 13 pines para entradas/salidas digitales (programables)
- 5 pines para entradas analógicas
- 6 pines para salidas analógicas (salidas PWM)
- DC corriente I/O Pin 40mA
- DC corriente 3.3V Pin 50mA

Este microcontrolador es completamente autónomo, es decir que una vez que es programado no necesita estar conectado a la PC para cumplir con la rutina especificada.



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



Las entradas analógicas del ATmega328 son de 10 bits, por lo que proporcionan valores entre 0 y 1023. El rango de voltaje está dado entre 0 y 5 volts.

El microcontrolador es una parte fundamental del dispositivo, ya que desde él se controla el tiempo de muestreo de los sensores de temperatura y pulso, así como la escritura y almacenamiento en un archivo de texto de los datos obtenidos durante su uso.

El ATmega328 es un microcontrolador CMOS de baja potencia de 8 bits basado en el AVR mejorado de arquitectura RISC.

Los AVR son una familia de microcontroladores de arquitectura Harvard, donde el programa a ejecutar y los datos son almacenados en memorias físicas independientes que aparecen en espacios de direcciones diferentes, pero que tienen la capacidad de leer los elementos de la memoria de programa utilizando instrucciones especiales.

Mediante la ejecución de instrucciones de gran alcance en un solo ciclo de reloj, el ATmega328 logra rendimientos que se acercan a 1 MIPS (millones de instrucciones por segundo) por MHz, lo cual permite al diseñador del sistema optimizar el consumo de energía en comparación con la velocidad de procesamiento.<sup>[14]</sup>

El núcleo AVR combina un amplio conjunto de instrucciones con 32 registros de trabajo de propósito general. Los 32 registros están conectados directamente a la unidad lógica aritmética (ALU), lo que permite dos registros independientes para acceder en una sola instrucción ejecutada en un ciclo de reloj. La arquitectura resultante es un código más eficiente logrando rendimientos hasta diez veces más veloces que los microcontroladores CISC convencionales.<sup>[14]</sup>

El dispositivo está fabricado con tecnología de memoria no volátil de alta densidad de Atmel. El ATmega328 permite a la memoria de programa ser reprogramada a través de una interfaz serial SPI (Serial Peripheral Interface), mediante un programador convencional de memoria no volátil, o por un programa de arranque que se ejecuta en el núcleo del chip. El programa de arranque puede usar cualquier interfaz para descargar el programa a ejecutar en la memoria Flash.

El software en la sección Flash de arranque continuará funcionando mientras se actualiza la sección de aplicaciones Flash, proporcionando una verdadera operación "Lee-mientras-escribe".

El ATmega328 es compatible con un conjunto variado de herramientas del programa y desarrollo del sistema, incluyendo compiladores de lenguaje C, ensambladores macro, depuradores y simuladores de programa, emuladores, etc.

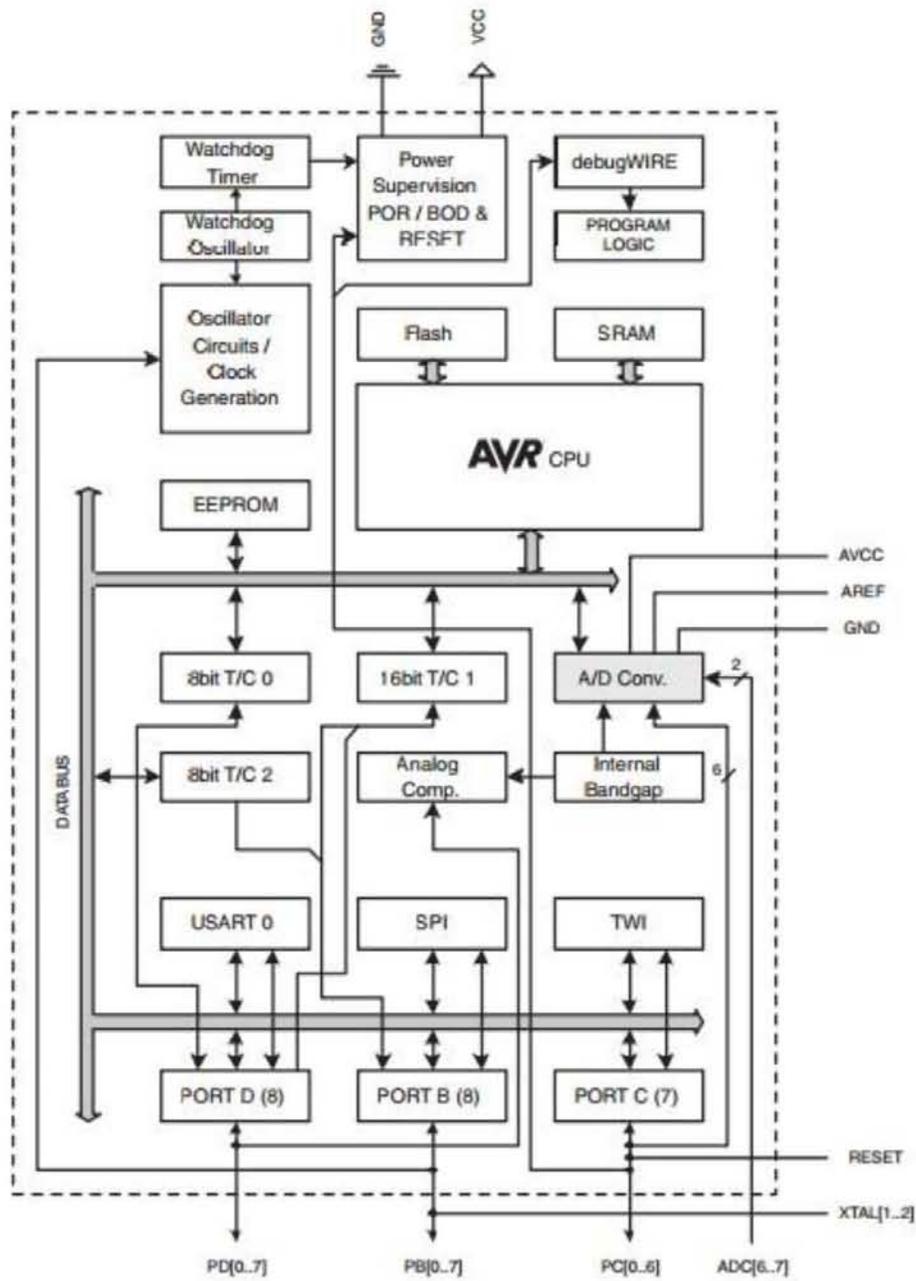


Figura 10. Diagrama de bloques del microcontrolador ATmega328.<sup>[14]</sup>



## 5.3 Sensor de temperatura LM-35

Para la adquisición de la temperatura corporal, se decidió utilizar el sensor LM-35; colocado a nivel del brazo, donde la señal obtenida por el sensor será mandado a una entrada analógica del microcontrolador para su correcto procesamiento.

Las características principales por las que se decidió el uso de este sensor, son las siguientes:

- Bajo costo.
- Trabaja con una alimentación que va del rango de 4 a 20 volts.
- Bajo consumo energético;  $I = 60 \text{ [}\mu\text{A]}$ .
- Baja impedancia de salida.
- Gran exactitud,  $0.5^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$ .
- Calibrado en grados Celsius.

El sensor de temperatura LM-35 es un circuito integrado con un voltaje de salida linealmente proporcional a la escala centígrada o Celsius ( $^\circ\text{C}$ ), lo cual ofrece una ventaja sobre otros sensores calibrados en la escala Kelvin, ya que de esta manera el usuario no necesita calcular una constante de voltaje para obtener una medición conveniente en grados centígrados.

Este sensor posee un rango de operación de  $-55^\circ$  a  $150^\circ\text{C}$  y la calibración es muy sencilla; el sensor proporciona a su salida 10 mV por cada grado centígrado sentido.

El sensor LM-35 no necesita circuitos complementarios para la calibración externa cuando se desea una exactitud del orden de  $\pm 0.25^\circ\text{C}$  a temperatura ambiente y  $\pm 0.75^\circ\text{C}$  en un rango de temperatura de  $-55$  a  $150^\circ\text{C}$  por lo cual está asegurado un

menor costo respecto a otros sensores que requieren elementos adicionales para su calibración.<sup>[15]</sup>

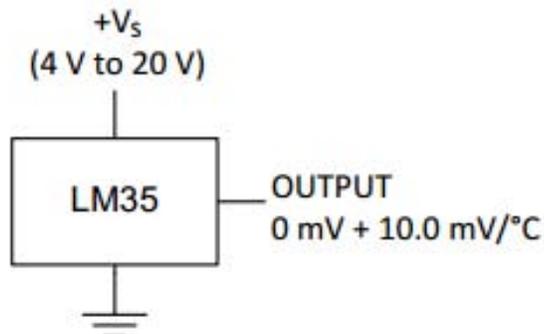
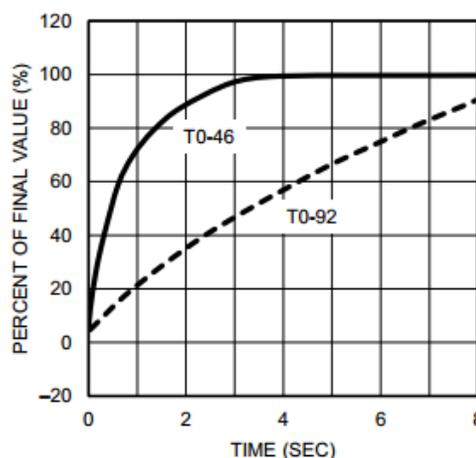
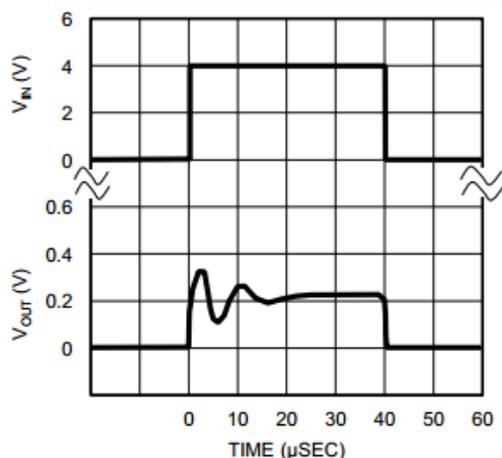


Figura 11. Diagrama del sensor de temperatura para una salida básica en grados Celsius.<sup>[15]</sup>

Lo anterior es una de las razones principales para el uso de este sensor; su exactitud, ya que se sabe que la temperatura normal del cuerpo humano está dentro del rango de 36.5 a 37.5°C, y si hay alguna variación de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ , es posible incluir el error generado en la medición de este sensor sin que modifique la respuesta que se desea del cuerpo del paciente, a partir de la lectura del sensor.



Figuras 12 y 13. Gráficas de la respuesta de arranque del sensor LM-35 (izquierda) y de su respuesta térmica respecto al tiempo (derecha).<sup>[15]</sup>



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardíaca y temperatura corporal



En las gráficas 12 y 13 se muestra la respuesta del sensor de temperatura LM-35 justo al inicio de su puesta en operación al ser energizado. Como se puede observar, el sensor necesita un tiempo de estabilización inmediatamente después de empezar su funcionamiento, así como para alcanzar el 100% de su valor de acuerdo al tipo de encapsulado. El sensor utilizado es un LM-35 con encapsulado T0-92.

De acuerdo a lo anterior, en el dispositivo diseñado, los valores de temperatura obtenidos por el sensor durante los primeros segundos de operación, pueden tener variaciones significativas. Sin embargo dichos valores serán almacenados en la tarjeta de memoria extraíble, por lo que es necesario tener en cuenta dicha inestabilidad de inicio.

### **5.4 Sensor de pulso**

Se decidió utilizar el sensor HRM-2511E fabricado por Kyoto Electronic Co. debido a que es un dispositivo fácil de usar y sus características nos permiten alcanzar el objetivo deseado.

El sensor HRM-2511E opera mediante el principio de fotopletismografía (PPG por sus siglas en inglés) con una técnica óptica no invasiva para la detección de la onda de pulso cardiovascular desde la yema del dedo.

El sensor de pulso está diseñado para utilizarse en un dedo de la mano y funciona mediante una fuente de luz infrarroja para iluminar una cara del dedo y un fotodetector colocado del lado contrario para medir las pequeñas variaciones en la intensidad de la luz transmitida. Dichas variaciones en la señal del fotodetector están relacionadas con los cambios en el volumen de la sangre dentro del tejido.

Características físicas del sensor:

- Interfaz de 3 pines: +, -, y señal.
- Largo del cable: 120 cm.
- Voltaje de operación de 2.6 a 5 Volts.
- Consumo de corriente de aproximadamente 4 mA a 5 Volts.



Figura 14. Sensores dentro del dedal; diodo y fototransistor.



Figura 15. Kyoto Electronic Co., módulo 4509.

El siguiente circuito muestra el esquema de control ON/OFF de la fuente de luz infrarroja dentro del sensor. La salida del fotodetector (VSENSOR) contiene la señal PPG que va a un filtro y amplificador para su posterior procesamiento.

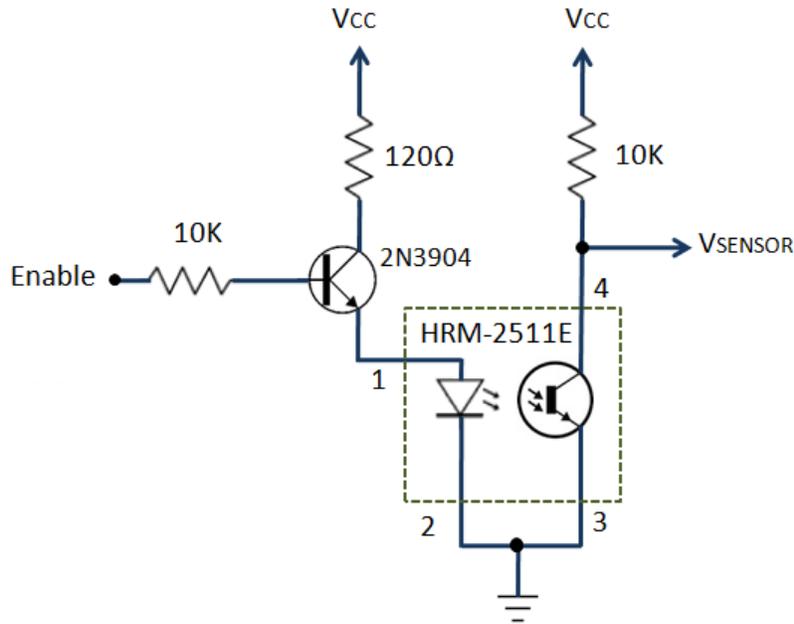


Figura 16. Diagrama del circuito del sensor de pulso HRM-2511E

La señal así adquirida es filtrada y amplificada para obtener una onda PPG, la cual está sincronizada con los latidos del corazón, siendo esta característica aprovechada para sensar las pulsaciones por minuto en el dispositivo, almacenando así la frecuencia cardiaca del paciente.

## 5.5 Alimentación del dispositivo

Para conseguir el objetivo de que el dispositivo tenga un tiempo de funcionamiento ininterrumpido de al menos dos días, se realizaron pruebas con diferentes tipos de baterías recargables, de acuerdo al voltaje necesario para el óptimo funcionamiento de los sensores así como del microcontrolador.

Las pruebas realizadas consistieron en mantener el dispositivo funcionando de forma continua, hasta que el voltaje de las baterías fue insuficiente para la correcta obtención de datos, requiriéndose así una recarga de las mismas.

Las baterías seleccionadas fueron las que proporcionaron el mayor tiempo de funcionamiento ininterrumpido y tienen las siguientes características.

- Baterías "AAA" recargables de Ni-MH, sin mercurio.(Fig.10)
- 1.2 volt con una capacidad de 850 mAh.
- Compatible con cualquier equipo que use una batería "AAA".



*Figura 17. Baterías "AAA" de Ni-MH*



## **5.6 Etapas de funcionamiento**

Las funciones principales del dispositivo se pueden resumir como adquirir, procesar y mostrar la información obtenida de los sensores y transductores.

### *Etapa de Transducción*

Los transductores son dispositivos que convierten una señal física, como por ejemplo, presión, temperatura, luz, etc. en señales eléctricas o pulsos eléctricos. En el prototipo están incluidos dentro de los sensores, obteniendo las señales de temperatura y pulso en el cuerpo humano y transmitiéndolas al microcontrolador en forma de señales eléctricas.

### *Etapa de acondicionamiento*

Es muy común que las señales eléctricas, después de la adquisición, se encuentren contaminadas de ruido, armónicos, caídas de voltaje o corriente y otros factores que distorsionan la señal.

El acondicionamiento de señal es opcional, dependiendo de cada señal o aplicación, se puede o no requerir amplificación, atenuación, filtraje, o aislamiento de la señal. Si la señal se encuentra dentro el rango de  $\pm 5V_{dc}$  y no se requiere aislamiento o filtraje, la señal puede ser conectada directamente a la tarjeta o al circuito de adquisición de datos.

### *Etapa de adquisición*

En esta etapa se realiza la conversión de la información analógica a una digital, lo que permite el procesamiento y el almacenamiento dentro de una computadora o dispositivo que maneje datos digitales.

Básicamente consiste en obtener una señal fisiológica y convertirla en un valor de tensión eléctrica, la cual posteriormente será procesada para obtener la

información deseada. La señal física pasa por las siguientes etapas antes de ser leída por un software en la PC.

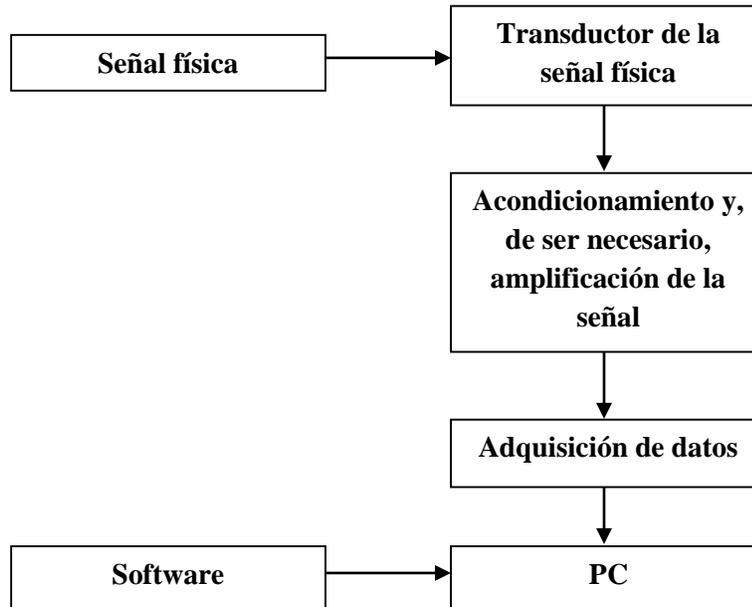


Figura 18. Diagrama de bloques para la adquisición de una señal física. [16]

La frecuencia de muestreo para la adquisición de datos es un parámetro de gran importancia para la correcta obtención de las señales biológicas y así poder procesar información correcta.

Para el dispositivo se tomó como base la frecuencia de muestreo utilizada para el pulso cardíaco, ya que la temperatura al ser un valor que varía con menor velocidad en el tiempo, podemos considerar que no es afectada por dicho parámetro.

La información obtenida de los sensores es recabada 25 veces por segundo, es decir, que se tiene una frecuencia de muestreo de 25 [Hz].



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal

---



### *Etapa de procesamiento*

Se realiza en la computadora, haciendo una serie de operaciones sobre la información obtenida; control de un sistema, autocorrección de información, almacenamiento y reporte de información.

En el dispositivo la etapa de procesamiento comienza desde el microcontrolador, en donde son obtenidos los datos y almacenados en un archivo de texto con extensión .txt con el objetivo de poder ser leídos en cualquier procesador de textos, para así facilitar su posterior estudio por un médico desde cualquier ordenador.

Es importante mencionar que el archivo contiene columnas ordenadas únicamente con los valores numéricos obtenidos de la temperatura y de la frecuencia cardiaca a partir de los sensores. Los valores deben ser interpretados con unidades de grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) y pulsos por minuto (ppm) respectivamente.

## VI. Construcción del prototipo

Se construyó una caja que se colocará en el lado derecho de la cadera del paciente, donde se encuentra el circuito principal y se procesa la información, los cables que conducen tienen un sujetador principal ubicado en el bíceps derecho con el cual se ajustan al brazo del paciente y donde uno de los sensores está ubicado.

El sensor utilizado para obtener el pulso, nos permite ubicarlo en el dedo índice o medio y la temperatura se tomó utilizando el sensor LM35, ubicado en la parte interior del bíceps, (esta temperatura es de referencia, si existiera alguna modificación, debido a enfermedad o algún otro problema de termorregulación, se podría observar cambios de temperatura en esta región), la información adquirida se utilizará para el tratamiento de pacientes diabéticos.



*Figura 19. Ubicacion de sensores.*



*Figura 20. Circuito final.*

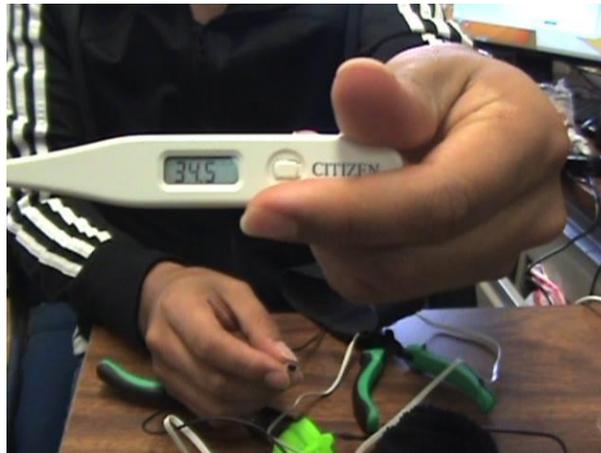
Debido a que el dispositivo debe generar un gran número de datos para poder obtener información fehaciente, se consideró un prolongado uso del dispositivo, por ello se requería una fuente de energía duradera, y un uso eficiente de energía por parte de los dispositivos electrónicos utilizados en el circuito final.

Se utilizaron 6 pilas triple A recargables, cada pila nos proporciona 1.2 volts y 850mAh, permitiendo obtener el voltaje deseado para el correcto funcionamiento del dispositivo, y poder utilizar de manera ininterrumpida el dispositivo durante aproximadamente dos días antes de volver a recargar las pilas.

## VII. Validación y resultados

### 7.1 Validación del sensor de temperatura

Para la validación del sensor LM35, se compararon los valores obtenidos después de realizar tres mediciones a cinco sujetos diferentes, con los valores referencia de un termómetro digital, el objetivo fue registrar la temperatura corporal, tomando la medición en la axila del sujeto.



*Figura 21. Temperatura de referencia con un termómetro digital (sujeto 1).*

La temperatura medida con el sensor se registró durante un minuto; se verificó que el sensor, después de una etapa de subida en los datos arrojados, obtuvo valores similares, con lo que se obtiene un sensor admisible para la adquisición de la temperatura corporal.

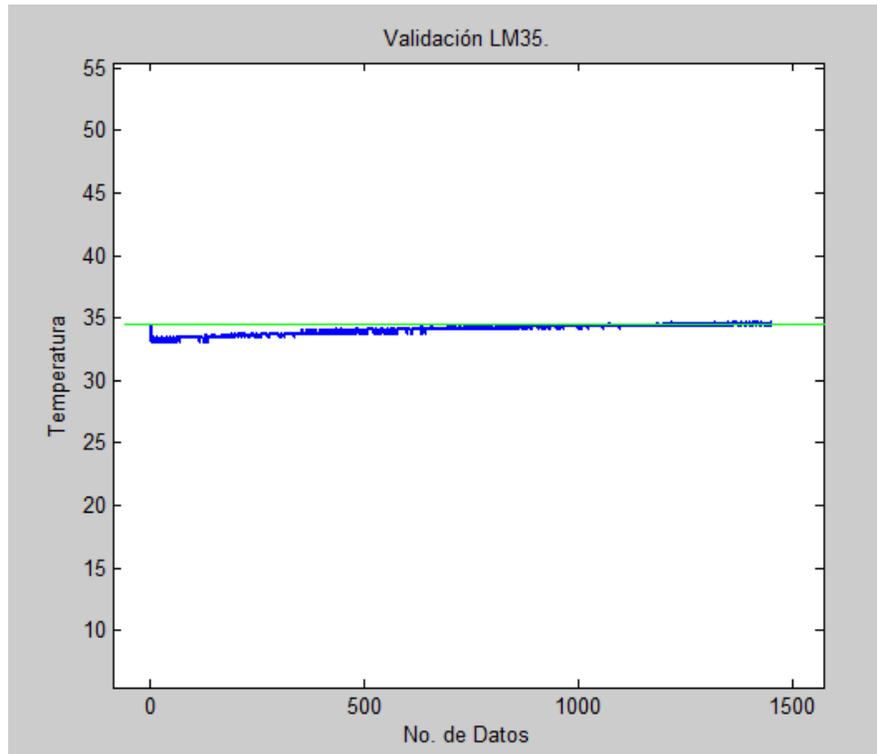


Figura 22. Validación del sensor de temperatura (sujeto 1). En verde se muestra la temperatura de referencia de un termómetro digital y en azul los datos obtenidos mediante el sensor LM35.

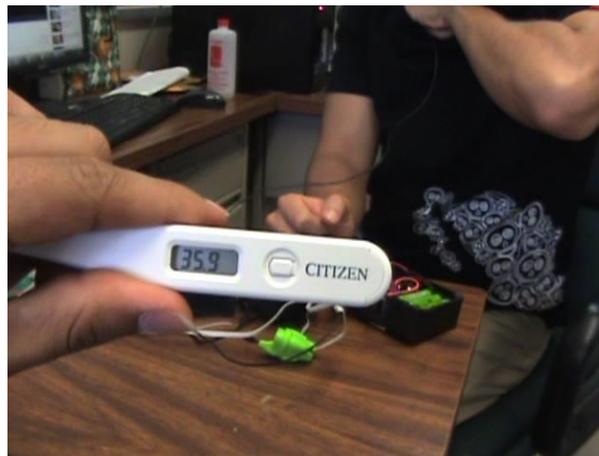


Figura 23. Temperatura de referencia con un termómetro digital (sujeto 2).

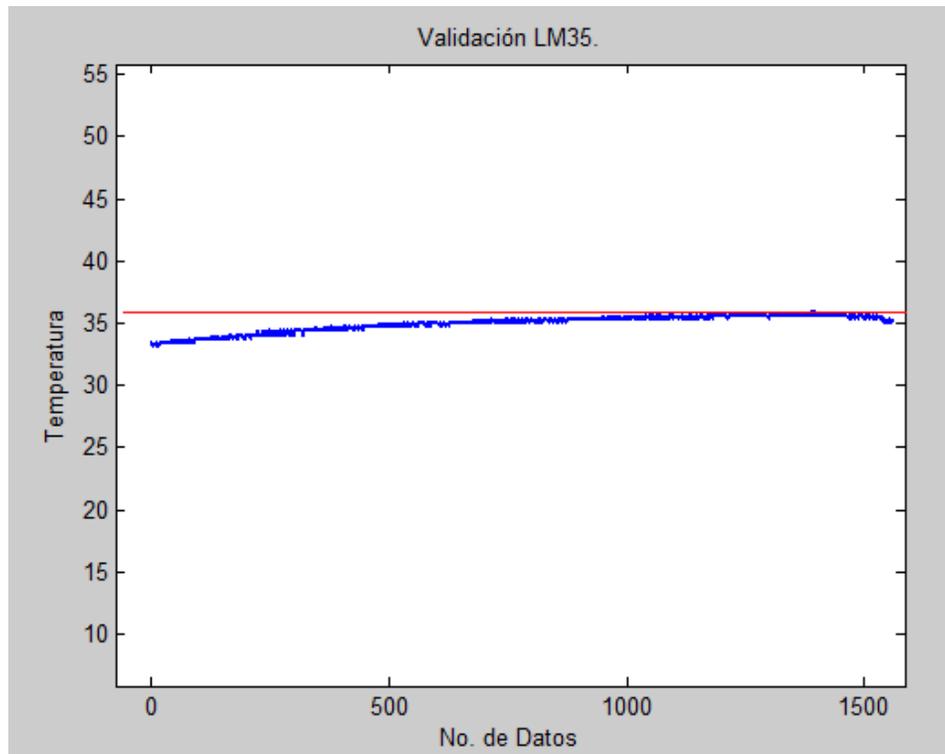


Figura 24. Validación del sensor de temperatura (sujeto 2).



Figura 25. Temperatura de referencia con un termómetro digital (sujeto 3).

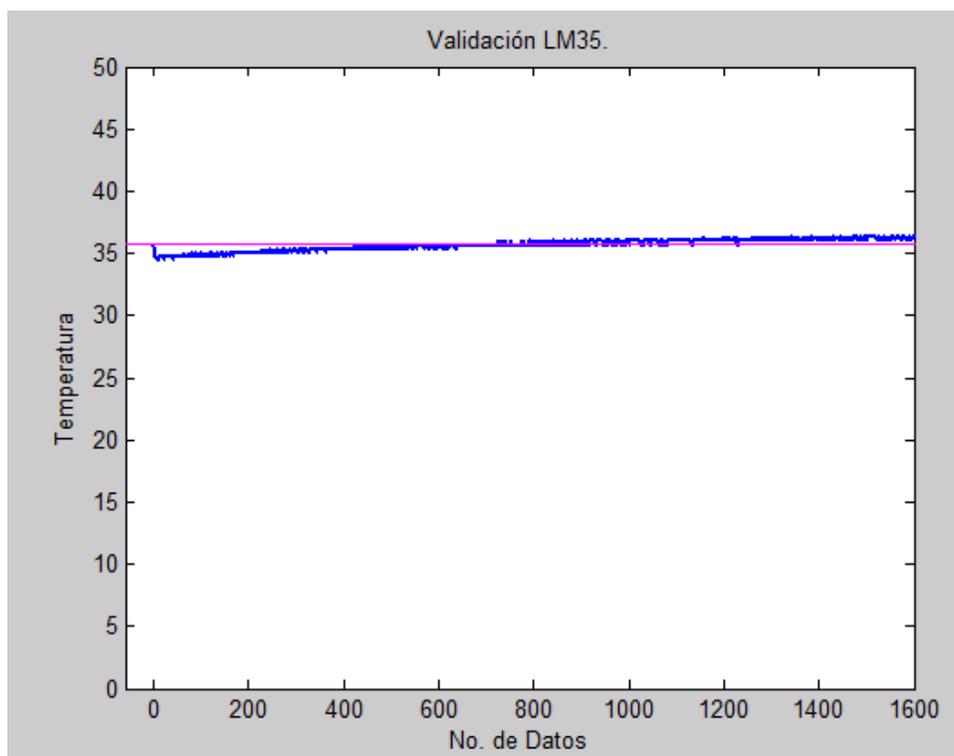


Figura 26. Validación del sensor de temperatura (sujeto 3).

En la tabla se muestra un promedio de los datos obtenidos con el sensor de temperatura de cada uno de los cinco sujetos de prueba, así como los datos obtenidos con el termómetro digital y el porcentaje de error.

$$E = \frac{|Temp_{ref} - Temp_{medida}|}{Temp_{ref}} \times 100$$



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



	<i>LM35</i>	<i>Termómetro</i>	<i>Error (%)</i>
<i>Sujeto de prueba 1</i>	32.6	33	1.21
	32	32.8	0.8
	32.4	33	1.81
	32.3	32.8	1.52
	32.3	32.8	1.52
<i>Sujeto de prueba 2</i>	32.0	32.1	0.1
	32.3	32.0	0.3
	32.3	32.0	0.3
	32.0	32.1	0.1
	32.6	33.6	2.97
<i>Sujeto de prueba 3</i>	32.3	32.3	0
	32.0	32.1	0.1
	31.7	32.0	0.93
	32.6	32.0	0.6
	32.3	32.0	0.3
<i>Sujeto de prueba 4</i>	31.7	32.0	0.93
	32.0	32.0	0
	32.0	32.1	0.1
	32.3	32.1	0.62
	32.3	32.1	0.62



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



<b>Sujeto de prueba 5</b>	32.0	32.8	0.8
	32.0	32.8	0.8
	32.0	32.8	0.8
	32.6	32.8	0.60
	32	32.2	0.2

Tabla 7. Resultados sensor LM35.

En la última columna mostramos el porcentaje de error y por último se realizó un promedio de error el cual nos muestra que el porcentaje de error del sensor es de  $\pm 1.43\%$ .

## 7.2 Validación del sensor de pulso

Para validar el sensor se realizaron cinco pruebas individuales, en las que se comparó el pulso tomado de forma radial, con los pulsos tomados con el sensor, esto se realizó con 5 sujetos diferentes. Con los datos obtenidos se realizó un promedio, y dicho promedio fue comparado con la frecuencia radial obtenida, con la que obtenemos un porcentaje de error del dispositivo.

	<b>Sensor de pulso [ppm]</b>	<b>Pulso radial [ppm]</b>	<b>Error (%)</b>
<b>Sujeto de prueba 1</b>	68	68	1.73
	70		
	68		
	72		
	68		



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



<b>Sujeto de prueba 2</b>	88	89	1.12
	86		
	91		
	94		
	91		
<b>Sujeto de prueba 3</b>	80	79	0.75
	81		
	78		
	80		
	79		
<b>Sujeto de prueba 4</b>	67	63	1.90
	62		
	62		
	65		
	65		
<b>Sujeto de prueba 5</b>	64	64	1.87
	64		
	62		
	69		
	67		

Tabla 6. Resultados sensor de pulso.

El sensor de pulso presenta un error promedio de  $\pm 1.47\%$



## IX. Conclusiones

En esta tesis se desarrolló un dispositivo portátil que permite obtener dos de los signos vitales que se suelen obtener en un chequeo médico, los cuales son temperatura y frecuencia cardiaca. El dispositivo permite almacenar los datos en una memoria externa con la finalidad de analizar los datos después de la adquisición, para que el médico a cargo del cuidado del paciente, pueda realizar un posible historial de actividades del paciente, y para dar un diagnóstico al paciente, así como recomendaciones para su vida diaria tomando en cuenta los datos antes obtenidos, reduciendo así la necesidad de constantes visitas al consultorio.

El circuito final se coloca en una caja situada en la cadera del paciente y los sensores son portados en lugares cómodos, pero también en puntos clave para la obtención de información útil para el médico.

El prototipo se sometió a pruebas de validación tales como caracterización de los sensores, donde se pudo corroborar que los datos obtenidos por éstos son similares a los datos obtenidos por los instrumentos patrón, obteniendo así un porcentaje de error para el sensor de temperatura de  $\pm 1.43\%$  y para el sensor de frecuencia cardiaca de  $\pm 1.47\%$ , con esto podemos observar que los datos proporcionados por los dos sensores son confiables en el momento de medir los signos vitales del paciente.

El sistema está diseñado de tal forma que los componentes utilizados consumen la menor cantidad de energía posible, obteniendo así el mayor beneficio de la batería. Este punto es de vital importancia, debido a que se trata de un dispositivo portátil, cumpliendo así el objetivo de mantenerse funcionando de forma continua durante periodos de al menos dos días antes de requerir una recarga de baterías. El voltaje suministrado en todo el sistema es de 7.2 volts, alcanzado con 6 baterías "AAA" de Ni-MH, con capacidad de 850 mAh.



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal

---



El prototipo está construido con componentes de fácil adquisición en el mercado nacional, lo cual permite que sea reproducido sin grandes dificultades y tener piezas disponibles en caso de ser necesaria alguna reparación.

Con las características de bajo consumo de energía y confiabilidad de los datos entregados por el dispositivo, se evitan las visitas constantes del paciente a su médico, y se mejora el conocimiento del médico de sus pacientes, permitiendo así llevar un mejor tratamiento específico y mejorando así la calidad de vida del paciente.



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardíaca y temperatura corporal

---



### X. Trabajo futuro

- Diseñar y construir una carcasa adecuada y sumamente cómoda para el dispositivo, facilitando su uso y operación.
- Se pretende realizar pruebas clínicas con pacientes diagnosticados con diabetes mellitus.
- Trabajar sobre una interfaz adecuada que ayude tanto a los médicos como a los pacientes a la correcta y sobre todo fácil interpretación de los datos recabados por el dispositivo.
- Obtener mayor información acerca del estado de salud del paciente a partir de los datos ya obtenidos.



# Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal



## Referencias

- [1] Maté Moreno M., Mora Robles J., et al. *Trastornos de la regulación de la temperatura*, Universidad de Málaga, 2010
- [2] Gerard J. Tortora & Bryan Derrickson. *Principios de anatomía y fisiología*. 13<sup>a</sup> edición pp. 1025 y 1048-1050, 2013
- [3] Nieto Martínez R. *Termorregulación humana*, UCLA, 2005.
- [4] <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003399.htm>
- [5] <http://escuela.med.puc.cl/Publ/ManualSemiologia/180PulsoArterial.htm>
- [6] Dan Longo, Dennis K, Larry J. Anthony F. et al. *Harrison. Manual de medicina interna*. pp. 2275-2304. 7<sup>a</sup> edición.
- [7] World Health Organization. *Diabetes Action Now : an initiative of the World Health Organization and the International Diabetes Federation*, 2004
- [8] Diabetes Prevention Program Coordinating Center, Biostatistics Center, George Washington University, Rockville, Maryland.
- [9] Consejo General de Colegios Oficiales de Farmacéuticos, *Guía farmacoterapéutica de la diabetes mellitus*, España (consultado en [www.portalfarma.com](http://www.portalfarma.com))
- [10] Alianza por la Salud Alimentaria, *Datos duros: "Dulce agonía"*, México, 2014
- [11] Mauricio Hernández-Ávila, Juan Pablo Gutiérrez, Nancy Reynoso-Noverón. *Diabetes mellitus en México. El estado de la epidemia*. Salud Pública México Vol. 55, sup 2, 2013
- [12] Eugenio Martín Cuenca, José M. Angulo Usategui, Ignacio Angulo Martínez. *Microcontroladores PIC la solución en un chip*. pp. 5-35. 2<sup>a</sup> edición, 1998.



## Diseño de un sistema para el registro de actividad cardiaca y temperatura corporal

---



[13]<http://rcmcomputointegrado.blogspot.mx/2012/04/arquitectura-von-neumann.html>.

[14] Hoja de datos del microcontrolador ATmega328, Atmel, 2014

[15] Hoja de datos del sensor de temperatura LM-35, Texas Instruments, 2013

[16] Leslie Cromwell. *Instrumentación y medidas biomédicas*. California State University, Los Angeles, 1980.