



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**UNIDAD DE POSGRADOS**

**TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO  
DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**Título:**

---

**“CARACTERIZACIÓN DEL FLEXINOL COMO GENERADOR DE  
ENERGÍA LIMPIA AÑO 2013. DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE  
MÁQUINA TÉRMICA A ESCALA DE LABORATORIO”.**

---

**Autor: CARRILLO Rosero, Carlos Mauricio**

**Tutor: GONZÁLEZ Palau, Iliana Antonia PhD.**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Marzo – 2015**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

---

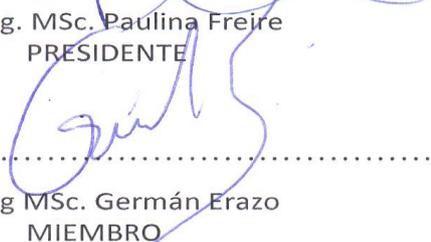
## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

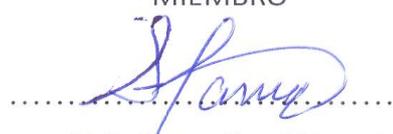
En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Carrillo Rosero Carlos Mauricio, con el título de tesis: **“Caracterización del flexinol como generador de energía limpia año 2013. Diseño de un prototipo de máquina térmica a escala de laboratorio”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga Mayo 2015

Para constancia firman:

  
.....  
Ing. MSc. Paulina Freire  
PRESIDENTE  
  
.....  
Ing MSc. Germán Erazo  
MIEMBRO

  
.....  
Ing. Alvaro Mullo  
MIEMBRO  
  
.....  
PhD. Secundino Marrero  
OPONENTE

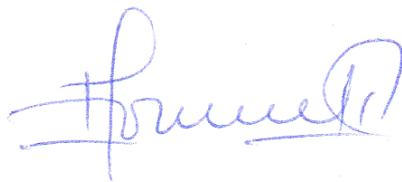
## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Latacunga, Marzo de 2015

En mi calidad de Director de Tesis presentada por el Ing. Carrillo Rosero Carlos Mauricio, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“CARACTERIZACIÓN DEL FLEXINOL COMO GENERADOR DE ENERGÍA LIMPIA AÑO 2013. DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TÉRMICA A ESCALA DE LABORATORIO”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Iliana González', is centered on the page.

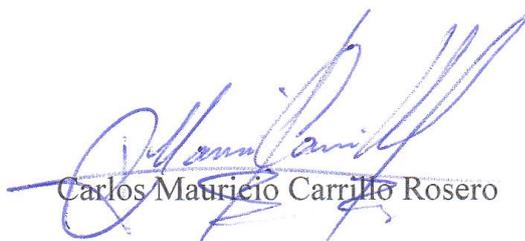
***PhD. Iliana González.***

**DIRECTOR DE TESIS**

## AUTORÍA

Yo, Carlos Mauricio Carrillo Rosero, portador del número de cédula 1802147890, declaro que la presente Tesis de Grado, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente



Carlos Mauricio Carrillo Rosero

C.I. 1802147890

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por enseñarme el camino de la sabiduría y la felicidad junto a mis seres queridos, por darme la oportunidad de obtener el sustento para mi familia y por estar presente en los momentos más difíciles.

A los docentes de Posgrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, a los docentes del ISMM de MOA de Cuba, quienes con su profesionalismo y don de gente supieron encaminarme para cumplir los objetivos propuestos.

A mi tutora, Iliana González, por sus sabios consejos y apoyo incondicional.

Carlos Mauricio

# **DEDICATORIA**

Al ser que me dio la vida.

Carlos Mauricio

**CERTIFICACIÓN DE CRÉDITOS QUE AVALAN LA  
TESIS**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**PROGRAMA: “MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS”**

“Caracterización del flexinol como generador de energía limpia año 2013, diseño de un prototipo de máquina térmica a escala de laboratorio”

Autor: Carlos Mauricio Carrillo Rosero

Fecha: Marzo 2015

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**UNIDAD DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO: Caracterización del flexinol como generador de energía limpia año 2013. Diseño de un prototipo de máquina térmica a escala de laboratorio**

**AUTOR:** CARRILLO ROSERO Carlos Mauricio.

**TUTOR:** GONZALES Palau Iliana Antonia. PhD.

## **RESUMEN**

En la presente investigación se evalúa un resorte muscular de diámetro pequeño, flexinol; una aleación de níquel y titanio también denominado nitinol, al que se le ha dado una muy poca aplicación como generador de energía limpia, en si es un material con memoria de forma térmica y elástica, estos dos comportamientos permiten generar fuerza, movimiento o almacenar energía. El campo de investigación se centra en determinar el tipo de alambre y otros elementos o componentes a ser usados en un prototipo a escala de laboratorio de una máquina térmica limpia, con la finalidad de obtener temperaturas adecuadas de trabajo, así como la capacidad de generar energía de manera autónoma. En la investigación se estableció que el diseño del prototipo este formado por tres subsistemas: Un subsistema mecánico compuesto de poleas, resorte de flexinol y un generador. Un subsistema electrónico que se encargará de medir el voltaje, el amperaje y el número de revoluciones generado. Un subsistema de adquisición de datos que permita la visualización de los mismos. Si bien es cierto el amperaje obtenido está en el orden de los 900 miliamperios, esta investigación es base de futuros trabajos o proyectos adecuando el prototipo a escalas mayores.

**Descriptor:** Flexinol, generador de energía limpia, prototipo de máquina térmica limpia.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**UNIDAD DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO: Caracterización del flexinol como generador de energía limpia año 2013. Diseño de un prototipo de máquina térmica a escala de laboratorio.**

**AUTOR: CARRILLO Rosero Carlos Mauricio.**

**TUTOR: GONZALES Palau Iliana Antonia. PhD.**

## **ABSTRACT**

At this research a muscular spring small diameter Flexinol is evaluated; an alloy of nickel and titanium also called nitinol, which has been given a very limited application as a source of clean energy, itself is a material with thermal and elastic memory, these two behaviors can generate force, motion and energy storage. The area of research focuses on identifying the type of wire and other elements or components to be used in a laboratory-scale prototype of a clean heat engine, in order to obtain suitable working temperatures and the ability to generate energy autonomously. The investigation established that the design of this prototype consists of three subsystems: A compound pulley mechanical subsystem, Flexinol spring and a generator. An electronic subsystem that will measure the voltage, amperage and speed generated. A data acquisition subsystem capable of displaying thereof. While it is true amperage obtained is in the order of 900 milliamps, this research is the basis for future work or projects adapting the prototype at larger scales.

**Descriptors:** Flexinol, generating clean energy, clean heat engine prototype.

# ÍNDICE

Contenidos

Páginas

*PORTADA* *i*

*APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO* *ii*

*AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS* *iii*

*AGRADECIMIENTO* *v*

*DEDICATORIA* *vi*

*CERTIFICACIÓN DE CRÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS* *vii*

*RESUMEN* *ix*

*ABSTRACT* *x*

*ÍNDICE* *xi*

*INTRODUCCIÓN* *1*

*CAPÍTULO I*

**EL PROBLEMA**

1.1 Contextualización _____	3
1.1.1 Análisis crítico _____	4
1.1.2 Prognosis _____	5
1.1.3 Control de la prognosis _____	6
1.1.4 Delimitación _____	6
1.2 Formulación del problema _____	6
1.3 Objeto de estudio _____	6
1.4 Justificación de la investigación _____	6
1.5 Objetivos _____	8
1.5.1 General _____	8
1.5.2 Específicos _____	8

1.5.3 Campo de acción _____	8
1.6 Enfoque de la investigación _____	8
1.7 Hipótesis _____	8
1.8 Conclusiones del capítulo _____	8

## ***CAPÍTULO II***

### **MARCO TEÓRICO**

2.1 Antecedentes de la investigación _____	10
2.2 Fundamentación teórica _____	15
2.2.1 Composición química del flexinol _____	15
2.2.2 Parámetros eléctricos _____	21
2.2.3 Temperaturas de trabajo _____	23
2.3 Fundamentación legal _____	26
2.4 Definición de términos básicos _____	27
2.5 Conclusiones del capítulo _____	28

## ***CAPÍTULO III***

### **METODOLOGÍA**

3.1 Modalidad de la investigación _____	30
3.2 Forma y nivel de la investigación _____	31
3.3 Tipo de investigación _____	31
3.4 Unidad de estudio _____	31
3.5 Métodos y técnicas a ser empleadas _____	31
3.6 Operacionalización de las variables _____	32
3.7 Instrumentos de recolección de datos _____	34
3.7.1 Diámetro de los alambres de nitinol _____	34
3.7.2 Microestructura del flexinol _____	35
3.7.3 Determinación de temperatura de trabajo _____	37
3.8 Conclusiones del capítulo _____	39

## ***CAPÍTULO IV***

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

4.1 Temperaturas, número de revoluciones y voltaje _____	40
--	----

4.2 Conclusiones del capítulo	54
-------------------------------	----

## ***CAPÍTULO V***

### **LA PROPUESTA**

5.1 Título de la propuesta.	56
5.2 Justificación.	56
5.3 Objetivo	57
5.4 Estructura de la propuesta.	57
5.5 Resultados obtenidos del prototipo a escala de laboratorio.	64
5.5.1 Factibilidad de aplicación en zonas geotérmicas del Ecuador.	67
5.6 Análisis y evaluación económica	71
5.7 Conclusiones del capítulo	73
5.8 Verificación de la hipótesis	74
5.9 Conclusiones generales	75
5.10 Recomendaciones	77

### ***BIBLIOGRAFÍA 78***

<b>Bibliografía consultada</b>	<b>78</b>
--------------------------------	-----------

<b>Bibliografía citada</b>	<b>79</b>
----------------------------	-----------

### ***ANEXOS 82***

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1 Máquina térmica de Ridway Banks	11
Figura 2.2 Máquina térmica de Johnson	11
Figura 2.3 Máquina térmica de Pachter	12
Figura 2.4 Prototipo de un motor basado en nitinol	13
Figura 2.5 Materiales inteligentes como actuadores	15
Figura 2.6 Diagrama de fases para las aleaciones de NiTi	16
Figura 2.7 Estructura cristalográfica correspondiente a la fase austenítica, B2....	16

Figura 2.8 Estructura cristalográfica correspondiente a la fase martensítica, monoclinica B19' .....	17
Figura 2.9 Mecánica del efecto memoria de forma.....	19
Figura 2.10 Relación de estiramiento SR en muelles de Flexinol .....	21
Figura 2.11 Porcentaje deformación nitinol respecto a temperatura.....	23
Figura 2.12 Representación hipotética de los cambios en las propiedades vs temperatura en una transformación martensítica de una aleación con memoria de forma. ....	24
Figura 2.13 Diagrama esquemático de oxidación del compuesto 50%NiTi .....	26
Figura 3.1 Montaje de muestras en resina para ataque en frío con pulido de 0.05 um.....	35
Figura 3.2 Probeta en frío (400x).....	36
Figura 3.3 Montaje de muestras para en bakelita para ataque en caliente con pulido de 0.05 um.....	36
Figura 3.4 Probeta en caliente (400x) .....	36
Figura 3.5 Motor ecológico.....	37
Figura 3.6 Controlador de temperatura serie E5CN.....	37
Figura 3.7 Calentador de agua cerámico de 5 Watts de potencia .....	38
Figura 3.8 Multímetro digital serie DT9028A .....	38
Figura 3.9 Termopar tipo K .....	38
Figura 3.10 Medidor del número de revoluciones Testo 470 .....	39
Figura 3.11 Prueba de toma de datos .....	39
Figura 4.1 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 1 °C.....	40
Figura 4.2 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 1 °C.....	41

Figura 4.3 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 2 °C .....	41
Figura 4.4 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 2 °C.....	42
Figura 4.5 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 3 °C.....	42
Figura 4.6 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 3 °C.....	43
Figura 4.7 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 4 °C.....	43
Figura 4.8 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 4 °C.....	44
Figura 4.9 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 5 °C.....	44
Figura 4.10 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 5 °C.....	45
Figura 4.11 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 6 °C.....	45
Figura 4.12 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 6 °C.....	46
Figura 4.13 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 7 °C.....	46
Figura 4.14 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 7 °C.....	47
Figura 4.15 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 8 °C.....	47
Figura 4.16 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 8 °C.....	48

Figura 4.17 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 9 °C .....	48
Figura 4.18 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 9 °C.....	49
Figura 4.19 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 10 °C.....	49
Figura 4.20 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 10 °C.....	50
Figura 4.21 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 11 °C.....	50
Figura 4.22 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 11 °C.....	51
Figura 4.23 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 12 °C.....	51
Figura 4.24 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 12 °C.....	52
Figura 4.25 Diagrama de temperaturas Vs número de revoluciones .....	52
Figura 4.26 Temperaturas vs voltaje generado .....	53
Figura 5.1 Prototipo sistema mecánico .....	57
Figura 5.2 Tarjeta mbed NXP LPC1768 prototyping board .....	58
Figura 5.3 Termómetro digital DS18B20Z.....	59
Figura 5.4 Sensor reflectante QRD1114.....	60
Figura 5.5 Diagrama esquemático de tarjeta para adquisición de datos .....	60
Figura 5.6 Diagrama pictórico (Dimensiones: 59.13x107.08mm) .....	61
Figura 5.7 Jerarquía del programa de adquisición de datos.....	63
Figura 5.8 Panel frontal y diagrama de bloques.....	63
Figura 5.9 SubVi. Diagramas de bloque .....	64

Figura 5.10 Temperaturas vs Número de revoluciones .....	65
Figura 5.11 Temperaturas vs voltaje .....	66
Figura 5.12 Temperaturas vs amperaje .....	66
Figura 5.13 Termas el Salado.....	67
Figura 5.14 Adquisición de temperaturas terma el Salado .....	68
Figura 5.15 Temperaturas promedio en terma El Salado.....	68
Figura 5.16 Terma de la Virgen .....	69
Figura 5.17 Temperaturas promedio en terma La Virgen.....	69
Figura 5.18 Termas el Pantanal.....	70
Figura 5.19 Temperaturas promedio en la Terma El Pantanal.....	71
Figura 5.20 Temperatura afluyente terma El Pantanal.....	71

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1 Composición química y propiedades de algunas aleaciones SMA.....	18
Tabla 2.2 Comparación de la aleación NiTi con un acero inoxidable AISI316 ...	18
Tabla 2.3 Propiedades físicas de las aleaciones Ni-Ti.....	20
Tabla 2.4 Valores de relación de estiramiento (SR) en resortes de flexinol .....	22
Tabla 3.1 Operacionalización de las variables .....	33
Tabla 3.2 Instrumentos.....	34
Tabla 4.1 Número de revoluciones en función de temperaturas promedio.....	54
Tabla 5.1 Lista de materiales .....	62
Tabla 5.2 Temperaturas de trabajo promedio .....	64
Tabla 5.3 Determinación del número de módulos .....	72
Tabla 5.4 Costos unitarios.....	72

# INTRODUCCIÓN

El Flexinol es un material inteligente con memoria de forma (Shape Memory Alloy, SMA), se lo conoce también como “alambre muscular”, es por lo general, una mezcla que está constituida por níquel y titanio en porcentajes casi iguales de tal manera que el más pequeño cambio en la relación podría tener efectos dramáticos en la temperatura de transición de la aleación, esta característica física se basa en su estructura cristalina. Cuando no se encuentra deformada en una fase que se llama “martensítica” su estructura no se destruye, sino que se transforma al calentarla a otra fase llamada “austenita” conocida como el efecto de memoria de forma (Shape Memory Effect SME), la fuerza con la que el material retorna a su forma es alta y es la que se aprovechó para evaluar el potencial energético del flexinol.

La contracción y relajación del flexinol depende de la temperatura, se puede utilizar cualquier método para producir este efecto, ya que esta aleación no sólo se contrae, sino que también produce un movimiento térmico, debido en gran medida a su gran resistencia eléctrica.

La presente investigación tiene como finalidad evaluar el desempeño de un prototipo a escala de laboratorio de una máquina de generación limpia de energía.

Para conseguir este objetivo el documento se lo ha organizado en cinco capítulos:

En el CAPÍTULO I, se plantea el problema con su contextualización, análisis crítico, prognosis, formulación del problema, justificación, se formula el objetivo general y los específicos así como el enfoque de la investigación.

En el CAPÍTULO II, se establece el análisis y recopilación de la información acerca de investigaciones relacionadas con el flexinol como fuente para la generación de energía, el marco legal y reglamentario vigente, necesarios para la fundamentación legal del proyecto

En el CAPÍTULO III, se establece la metodología, modalidad, forma, tipo y nivel de investigación, el muestreo, los métodos y técnicas a ser empleadas, la operacionalización de las variables y el procedimiento de la investigación.

En el CAPÍTULO IV, se evalúo las temperaturas de trabajo óptimas, así como también el potencial energético del prototipo aplicado a zonas en las cuales exista energía geotérmica.

Finalmente en el CAPÍTULO V, se muestra el diseño del prototipo constituido por tres subsistemas: mecánico, electrónico y de adquisición y lectura de datos.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

En el presente capítulo se plantea el problema con su contextualización, análisis crítico, pronóstico, control de la pronóstico, delimitación temporal y espacial, formulación del problema, justificación y significación, interés, utilidad teórica, práctica y metodológica, novedad científica, factibilidad, relevancia social. Se formulan los objetivos generales y específicos y el enfoque de la investigación.

### **1.1 Contextualización**

En el planeta tierra el consumo de energía, es cada vez mayor; según la agencia internacional de energía (AIE), en el 2011 se consumió alrededor de 87421 barriles de petróleo por día, 112971 billones de pies cúbicos de gas natural y 17360 billones de Kilovatios hora de energía eléctrica, desde esta perspectiva la raza humana solo ha ejercido el control de estos tipos de fuente de energía y en la mayoría de los casos de manera ineficiente. Cabe destacar que en los últimos años varias son las iniciativas colectivas para minimizar la generación de ciertos residuos perjudiciales para el medio ambiente; el protocolo de Montreal para la eliminación de los clorofluorocarburos (CFC), compuestos responsables de la destrucción de la capa de ozono; los acuerdos derivados de la conferencia de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo; el protocolo de Kioto para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento de la Tierra. La importancia de la energía hace que se inviertan sumas enormes para investigación y desarrollo (I+D) de todas las formas de energía, con la finalidad de tener eficacia y

eficiencia en los procesos comerciales ya existentes o en nuevos procesos productivos aprovechables, como por ejemplo las pilas de combustible y la energía nuclear de fusión. A ellas podrían añadirse otras muchas, como el estudio de la superconductividad, para mejorar el transporte o aplicación de la electricidad o la magneto hidrodinámica.

En los países latinoamericanos no se da la importancia que debe tener el desarrollo de I+D en cuanto a la generación de energías renovables, la mayor característica de estos países radica en la utilización de energía hidroeléctrica, cerca del 23%, mientras que en el resto del mundo es del 6% (Mansilla, "Integración Energética y Recursos Naturales en América Latina", 2008). Los países basan su integración en el comercio de energía sin una capacidad que permita su explotación sostenida y coordinada de los recursos no renovables.

En el Ecuador en la constitución política del 2008, tomando en cuenta el artículo 237, se crea el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, con el objetivo de servir a la sociedad mediante la formulación de la política nacional y gestión de proyectos del sector eléctrico, para lograrlo se vale del cumplimiento entre otros objetivos; el de impulsar un modelo de desarrollo energético con tecnologías ambientalmente amigables y promover el desarrollo sustentable de los recursos energéticos e impulsar proyectos con fuentes de generación renovable (hidroeléctrica, geotérmica, solar, eólica) y de nueva generación eléctrica eficiente, incluyendo la nuclear, excluyendo la generación con base en el uso del diesel.

### **1.1.1 Análisis crítico**

El escaso desarrollo de nuevas fuentes y/o tecnologías de energía alternativa ha dado como resultado la dependencia y el consumo excesivo de energía convencional, la demanda de energía para efectos de diagnóstico, puede visualizarse reconociendo las variables y cómo interactúan entre ellas; sin embargo cuando se habla de comunidades rurales, por lo general el mecanismo de identificación es la propia comunidad; la mayoría de proyectos desarrollados en función de la utilización de fuentes de energía renovable en el Ecuador para estas comunidades, están o han sido dirigidas hacia el uso de la

generación eólica, solar y biomasa principalmente; pero que, en la actualidad no representan ni el 0,1% del suministro total de energía primaria; dejando de lado la investigación hacia otros tipos de generación, como por ejemplo el uso de músculos inteligentes que utilizan procesos termodinámicos limpios. Si bien es cierto la constitución política creó el Ministerio, ni éste ni las Universidades le han dedicado el suficiente esfuerzo ni el contingente económico para desarrollar el I+D.

La falta de aprovechamiento de los recursos energéticos locales, en gran medida debido al coste que conllevan no ha permitido que en sectores con alto potencial geotérmico se desarrollen proyectos, una de las razones principales, tal vez sea que no se ha concientizado de manera general y local, sobre el potencial energético que poseen.

### **1.1.2 Prognosis**

Un I+D siempre estará asociado al desarrollo económico de un país, el conocer nuevas técnicas o tecnologías que permitan que los recursos naturales no se agoten de manera rápida, es el concepto básico de la sustentabilidad. La investigación pretende obtener energía autosustentable basada en este concepto, aprovechando las propiedades que presenta el resorte de flexinol; al cual, si se le incita cambios de tensión y/o temperatura, provocan el alargamiento y contracción del mismo, este movimiento cíclico, puede ser aprovechado para impulsar mecanismos; tales como, poleas o engranajes acoplados a un generador y obtener de esta manera energía.

Esta investigación pretende también aprovechar la energía geotérmica, a través de la evaluación de temperatura en zonas que exista termas naturales, las cuales podrían proveer la temperatura en el flujo de agua caliente; y dado que, por lo general, adyacente a ellas se encuentran ríos, lagos o lagunas que pueden proveer el flujo de agua fría, ambas, son la fuente primaria para la generación de movimiento mecánico, al actuar directamente sobre el resorte de Flexinol.

### **1.1.3 Control de la prognosis**

La investigación tiene como objeto el determinar una nueva aplicación de tecnología para la generación de energía alternativa mediante la utilización de máquinas térmicas limpias y el uso de músculos inteligentes. Para cualquier uso de una aleación de memoria como lo es el flexinol es conveniente que se conozcan las temperaturas de transformación de la aleación está no debe moverse significativamente del rango establecido.

### **1.1.4 Delimitación**

La investigación se desarrollará durante el período comprendido entre los meses de febrero a octubre del 2013

En su primera parte en la investigación se determina parámetros necesarios para el aprovechamiento del flexinol como generador de energía, determinado para ello temperaturas de trabajo adecuadas de acuerdo al tipo de alambre y posibles zonas geotérmicas en las cuales se pueda aplicar el sistema.

## **1.2 Formulación del problema**

"Como adaptar el estudio y caracterización del flexinol de manera que pueda ser usado como fuente de generación de energía limpia."

## **1.3 Objeto de estudio**

El flexinol como materia prima de generación de energía

## **1.4 Justificación de la investigación**

Si bien la utilización del Flexinol como generador de energía es un tema nuevo en el Ecuador, proyectos en los cuales se desarrolla I+D, son de mucho interés, cuando se habla de países que involucran dentro de su política energética la reducción del consumo procedente de recursos no renovables; para el País, es de suma importancia aumentar de manera progresiva el autoabastecimiento, lo cual solo será posible implementando energías de futuro.

Para cumplir con requerimientos de una política energética sana se debe cumplir dos ejes importantes la promoción del ahorro y la mejora de la

eficiencia energética, por un lado, y el fomento de las actuales y nuevas tecnologías de generación renovable. Desde este punto de vista el desarrollo de un proyecto que involucre el uso materiales inteligentes (Flexinol), generará un documento que puede servir para las generaciones futuras, que deseen profundizar en esta temática.

El apoyo a la generación de electricidad a partir de energías renovables, en comunidades o instalaciones conectadas al sistema eléctrico, se ha basado y se continuará basando en un periodo de aplicación, con un marco jurídico que permita priorizar el aprovechamiento de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables y en un marco económico estable, de esta manera se justifica toda actividad práctica.

El proponer o establecer mecanismos metodológicos, para acercar las energías renovables al ámbito urbano y rural, siempre que se verifiquen que sean técnicamente y económicamente posibles, incluye el empleo industrial asociado a la fabricación de equipos y todo el empleo necesario para la puesta en marcha de una instalación de energías renovables desde la promoción del proyecto, ingeniería, etc., hasta la puesta en marcha de la instalación.

La tecnología e innovación para crear nuevos conocimientos, tecnologías y procesos son un elemento clave en la innovación basada en el conocimiento.

Si se tiene en cuenta que se pronostica que la producción de petróleo convencional en el futuro se mantendrá en los niveles actuales y según la AIE, evalúa en 120 \$ por barril en el año 2035, manteniéndose, probablemente, una volatilidad en los precios del petróleo, hace pensar que una buena parte del suministro de energía deberá necesariamente cubrirse con energía renovable o con otras fuentes no convencionales, por, lo que este tipo de proyectos tienen una afectación social de mucha consideración.

La factibilidad de realizar el proyecto radica en su aplicación práctica se lo pretende realizar en zonas en las que existan fuentes termales, y presenten características necesarias para llevarlo a cabo.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 General**

1. Evaluar el potencial del material Flexinol mediante un procedimiento experimental de laboratorio el mismo que permita ser usado como fuente alternativa de generación eléctrica en sectores con fuentes geotérmicas.

### **1.5.2 Específicos**

1. Caracterizar el flexinol como un material que permita la generación de energía
2. Diseñar y seleccionar los elementos, componentes o accesorios necesarios para la construcción de un prototipo a escala de laboratorio.
3. Evaluar la factibilidad del uso del flexinol como fuente de energía limpia en sectores con fuentes geotérmicas.

### **1.5.3 Campo de acción**

Caracterización del flexinol como fuente de energía limpia

## **1.6 Enfoque de la investigación**

El presente proyecto se lo realizará de manera deductiva, ya que lo que se pretende es obtener datos cuantitativos de generación de energía eléctrica mediante la utilización del flexinol.

## **1.7 Hipótesis**

La caracterización del flexinol como generador de energía eléctrica, permitirá la propuesta de una máquina térmica limpia así como la evaluación del potencial energético en sectores que posean fuentes geotermales.

## **1.8 Conclusiones del capítulo**

Siempre que se piensa en generación limpia, la primera opción es la energía eólica y/o la energía solar, sin embargo el proponer nuevas formas de

generación genera en el lector la incertidumbre de si esta posibilidad es cierta, los nuevos descubrimientos en materiales especialmente cuando se habla de materiales inteligentes hacen real esta posibilidad, el desarrollar y generar energía limpia y sostenible por cualquier medio debería ser una constante en el aprendizaje y desarrollo de los nuevos profesionales.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

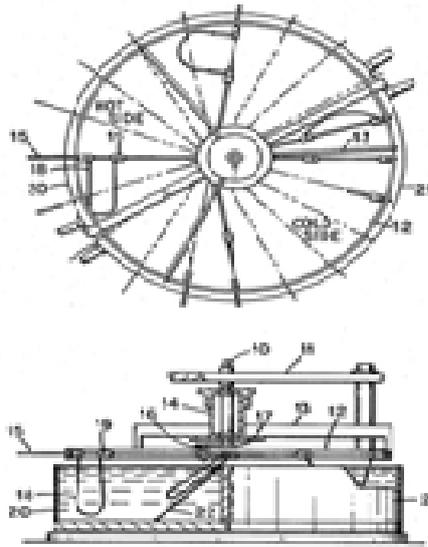
En este capítulo se establece el marco teórico, los antecedentes, la conceptualización, el marco legal y reglamentario vigente, necesarios para la fundamentación legal del proyecto.

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

Las aleaciones con memoria de forma (SMA) popularmente conocidos como Nitinol son aleaciones metálicas, que después de una deformación aparentemente plástica vuelven a su forma original tras un calentamiento.

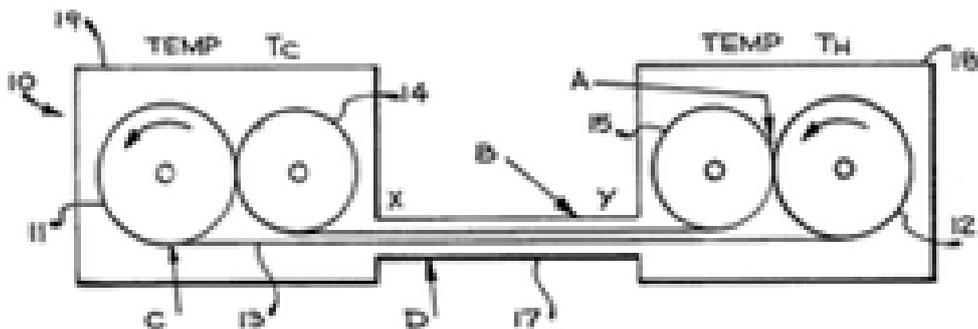
Debido a las propiedades del flexinol resulta muy sencillo convertir la energía térmica en energía mecánica. Existen pocos prototipos de motores térmicos que usan elementos de flexinol como convertidores de energía.

Una primera máquina térmica limpia es la patentada (US3913326) por M. Ridway Banks en 1975, en el laboratorio de la Universidad de California, llenando la mitad de un cilindro pequeño con agua fría y la otra mitad con agua caliente, una llanta contenía 20 hilos de nitinol, los alambres fueron fijados excéntricamente, como se muestra en la Figura 2.1, logrando a través del la fuerza radial producida un giro de alrededor de los 70 RPM y generando medio vatio de electricidad. Este mecanismo funcionó por más de 23 millones de ciclos, pero su eficiencia era baja ya que sufría pérdidas mecánicas y térmicas sustanciales (Wakjira, 2001)



**Figura 2.1 Máquina térmica de Ridway Banks**  
Fuente: (United States Patent, 2014)

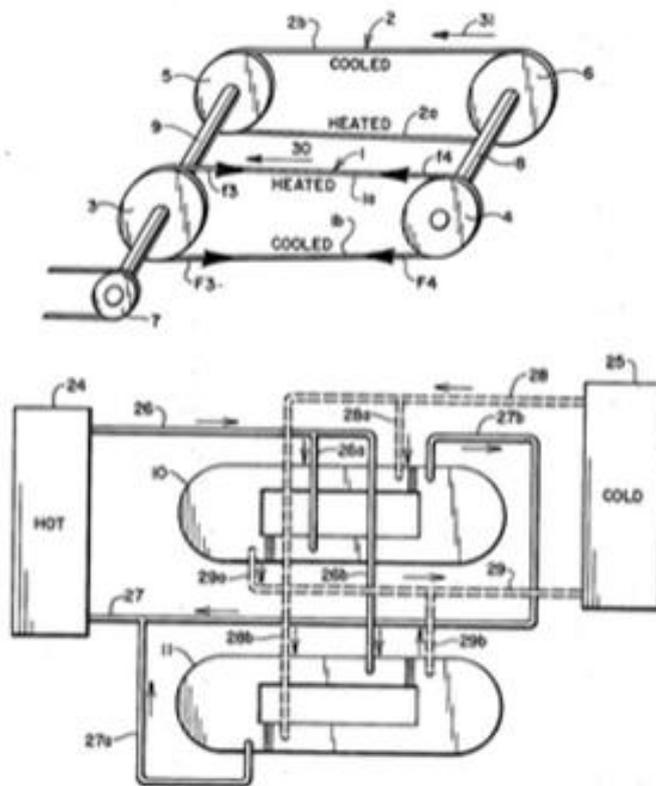
En 1976 Alfred David Johnson inventa un tipo de máquina térmica con patente (US4055955, 1977) en la cual un par de poleas de diferente diámetro, giran en la misma dirección de los engranajes montados sobre un eje como se muestra en la Figura 2.2, la rotación en conjunto hace que la porción inmersa en agua fría se estire, y a partir de este la porción calentada se contrae, la diferencia de tensión entre las dos porciones produce un par neto en la polea de mayor diámetro. (Wakjira, 2001)



**Figura 2.2 Máquina térmica de Johnson**  
Fuente: (United States Patent, 2014)

La eficiencia de estos motores es baja porque el agua se transporta por la hélice lo que hace que los depósitos de agua fría y caliente se mezclen rápidamente.

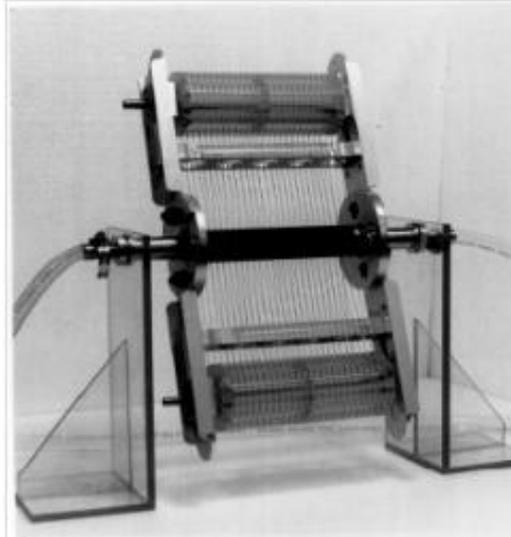
La máquina térmica inventada por Jhon J. Pachter con patente (US4150544, 1979) Una correa se enrolla alrededor de un par de poleas de diferente diámetro, siendo una de las poleas de diámetro ligeramente mayor que el otro, el eje de una polea se conecta a otra polea, la rotación requiere el calentamiento y enfriamiento de porciones seleccionadas de las correas; la correa 1 provoca que las poleas 3 y 4 giren en el sentido de la flecha mostrada en la Figura 2.3 cuando el calor es aplicado en la región 1a y se contrae cuando se enfría en la región 1b, de la misma forma la correa 2 provoca que las poleas 5 y 6 giren en el mismo sentido; finalmente la rotación del eje pasa a un objeto externo a través de la polea 7. (Wakjira, 2001)



**Figura 2.3 Máquina térmica de Pachter**  
**Fuente: (United States Patent, 2014)**

Otra aplicación en motores térmicos, es el mostrado en la Figura 2.4. “El principio de funcionamiento de estos motores se basa en el cambio de estado del nitinol o el flexinol cuando pasa por dos baños de agua, uno caliente y el otro frío. El agua caliente contrae el nitinol mientras que el agua fría lo

expande. La fuerza y torque resultantes provocan el movimiento del motor, pudiendo este de forma teórica generar electricidad, impulsar un avión o mover un coche.” (Ashley, 1988)



**Figura 2.4 Prototipo de un motor basado en nitinol**

**Fuente: (Wang F. , 1985)**

Al introducir un extremo en agua caliente, el nitinol se contrae y el torque resultante hace que giren las poleas (MacGuineas, 1983). Antes de que ITI desarrollase nuevas tecnologías para el tratamiento del nitinol, el efecto memoria de los alambres disminuía después de entre  $10^4$  y  $10^5$  ciclos, además de que la soldadura que unía los extremos del alambre de nitinol para formar un lazo continuo fallaba tras  $10^3$  ciclos. Después de que ITI comenzase a usar nuevas técnicas para la manufactura del nitinol, construyeron un motor del tipo Thermobile que estuvo funcionando de forma continua, controlando la temperatura, durante un año y medio. “Durante ese tiempo los alambres de nitinol efectuaron  $2.1 \cdot 10^8$  ciclos, lo cual supone  $10^4$  veces la vida útil del nitinol, sin romperse y sin mostrar degradación o efectos de fatiga” (Wang F. , 1985).

Otras aplicaciones dadas al flexinol son las siguientes:

La empresa Beta Phase tiene patentado un conector eléctrico hecho de nitinol. Cuando estos conectores son calentados adoptan una forma predeterminada de

fábrica, ejerciendo una fuerza que abre o cierra las conexiones eléctricas entre componentes (Schetky, 1979)

Debido a la resistencia del nitinol al agua del mar, puede usarse en aplicaciones del campo de la ingeniería marítima. La Universidad de Stanford ha desarrollado unos sellos resistentes a la corrosión y preparados para funcionar en ambientes de altas presiones, para su uso en pozos geotérmicos en el fondo oceánico (Engineering Chemical, 1984)

Cirujanos cardiovasculares de Moscú han ideado una prótesis de nitinol diseñada para reforzar secciones de vasos sanguíneos. Un pequeño alambre de nitinol es introducido en un vaso sanguíneo y al calentarse por medio de la temperatura corporal adopta una forma en espiral (The Telegraph Agency of the Soviet Union, 1989)

Swamy & Fagan (2007) manifiestan que "El alambre con memoria de forma se ha utilizado como músculo activo, con diferentes configuraciones proporcionando momentos variables a los cuerpos vertebrales. La fuerza ejercida depende de las dimensiones de los hilos, de su pretensión y la fuerza aplicada. Durante las pruebas, los movimientos de control fueron el resultado de la activación de los músculos conectados a los cuerpos vertebrales. Los diferentes regímenes de reclutamiento muscular para el músculo con memoria de forma se controlan mediante un programa Matlab. El movimiento antagónico alivia la presión sobre el tejido del disco intervertebral. Aunque hay limitaciones anatómicas a los movimientos reales generales y la respuesta del modelo."

Villoslada (2010) manifiesta que: "Los actuadores de nitinol imitan el comportamiento de los músculos humanos, contrayéndose al calentarse, gracias al efecto de memoria de forma, y dilatándose al enfriarse. El calentamiento se consigue aplicando corriente eléctrica a los actuadores".

Sánchez (2010) concluyen que: "Después de realizar un estudio del estado del arte referente a sistemas de actuación, se ha comprobado que al día de hoy se han llevado a cabo pocas investigaciones sobre materiales SMA y en concreto

se han desarrollado muy pocos prototipos de actuadores que utilicen esta tecnología".

Entre las propiedades únicas de los alambres con memoria de forma se incluye el comportamiento pseudo-elástico que es un efecto de memoria de forma que se puede utilizar en muchos campos diferentes de la ciencia y la ingeniería. Como se comenta por Machado & Savi (2003) la biocompatibilidad de estas aleaciones también los hace adecuados para aplicación a problemas médicos, como implantes ortopédicos, dispositivos cardiovasculares, instrumentos quirúrgicos, así como dispositivos de ortodoncia.

## 2.2 Fundamentación teórica

Contreras (2012) manifiesta que: "Los materiales inteligentes, también denominados multifuncionales son materiales capaces de responder de modo reversible y controlable ante diferentes estímulos físicos o químicos externos, modificando alguna de sus propiedades".



Figura 2.5 Materiales inteligentes como actuadores

Fuente: (Contreras, 2012)

Dado su gran sensibilidad, estos materiales pueden ser utilizados en el diseño y desarrollo de sensores, actuadores y otros productos multifuncionales como se muestra en la Figura 2.5, también pueden llegar a configurar estructuras y sistemas inteligentes debido a que son capaces de auto diagnosticarse y modificarse para adaptarse a las condiciones que se les ha marcado como óptimas o correctas. (Contreras, 2012)

### 2.2.1 Composición química del flexinol

Cuando se habla de las propiedades del NiTi se refiere a la fase acotada en el diagrama de fases de la Figura 2.6. Como se detalla, esta fase tiene un rango de composiciones que se va estrechando a medida que desciende la

temperatura. Después de un tratamiento por lo general un solubilizado (en general por encima de los 850° C) la fase NiTi puede retenerse metaestablemente a temperaturas cercanas a ambiente mediante enfriamientos rápidos (temple) (Otsuka & Ren, 2005).

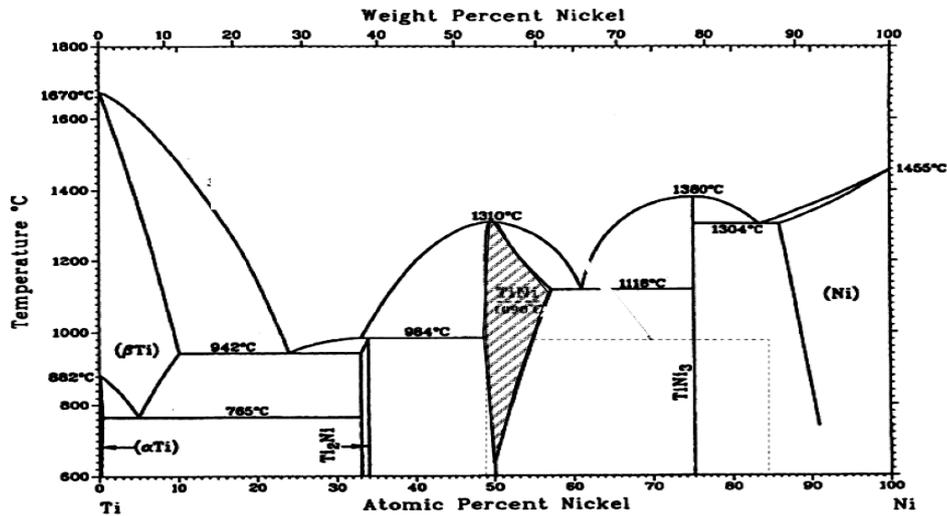


Figura 2.6 Diagrama de fases para las aleaciones de NiTi  
Fuente (Otsuka & Ren, 2005)

Esta fase tiene estructura *B2*, puede interpretarse como dos redes cúbicas intercaladas como se ilustra en la Figura 2.7. Para una composición equiatómica (50% Ni-50% Ti) el parámetro de red es de 0,30 nm a temperatura ambiente.

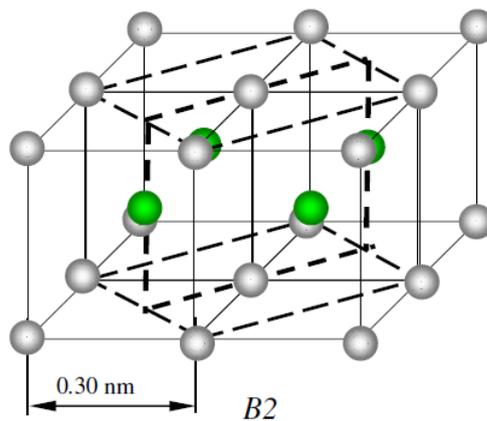
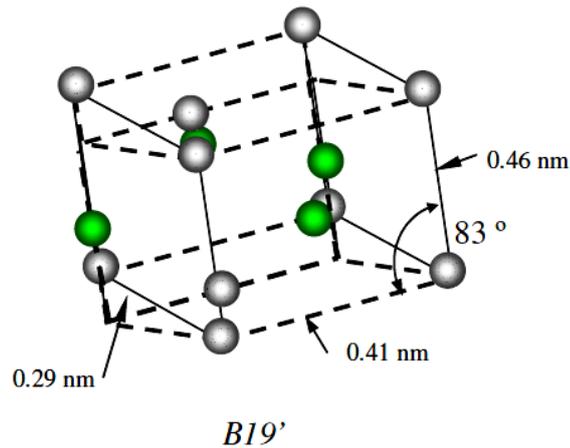


Figura 2.7 Estructura cristalográfica correspondiente a la fase austenítica, B2  
Fuente: (Otsuka & Ren, 2005)

Esta fase es la que da lugar a la transformación martensítica involucrada en los efectos de memoria de forma y superelástico. La fase martensítica, ilustrada en la Figura 2.8, se denomina B19', y es monoclinica con el ángulo no recto de 83° y parámetros de red 0.29, 0.41 y 0.46 nm (Otsuka & Ren, 2005), correspondiendo un cambio de volumen  $\Delta V/V$  de -0.0033 respecto a la fase B2.



**Figura 2.8 Estructura cristalográfica correspondiente a la fase martensítica, monoclinica B19'**

Fuente: (Otsuka & Ren, 2005)

Para asegurar la calidad y consistencia de los materiales fabricados con nitinol es importante conocer y entender los procesos seguidos para obtener este material y los efectos que tiene en las propiedades y formas finales. En teoría todos los componentes fabricados con nitinol (alambres, tubos, flejes, barras, láminas, etc.) siguen los mismos pasos de fabricación. Primero se alean en vacío, se trabajan en caliente, se trabajan en frío y se tratan en caliente para conseguir las propiedades finales. Los procesos subsiguientes necesarios para cortar, formado en caliente, cortar por láser, soldar y tratamientos superficiales, se aplican para producir el elemento final. (Russell, 2000)

Existen muchas aleaciones que presentan los mecanismos de memoria de forma y superelasticidad, pero solo unas pocas han sido desarrolladas comercialmente, como las de NiTi, NiTi-X (donde X es un elemento ternario) y Cu-Zn-Al. En la actualidad, el 90% de las nuevas aplicaciones están basadas en NiTi, NiTiCu y NiTiNb. (Otsuka & Ren, 1998)

Como comparación, se puede ver la Tabla 2.1, las composiciones químicas y el rango de temperaturas entre algunas de las principales aleaciones SMA

**Tabla 2.1 Composición química y propiedades de algunas aleaciones SMA.**

<i>Aleación</i>	<i>composición</i>	<i>Rango de temperaturas (°C)</i>	<i>Histéresis (°C)</i>
Ag-Cd	44/49 at %Cd	-190 a -50	15
Au-Cd	46,5/50 at % Cd	30 a 100	15
Cu-Al-Ni	14/14,5 at %Al; 3/4,5 wt% Ni	-140 a 100	35
Cu-Sn	15 at % Sn	-120 a 30	
Cu-Zn	38,5/41,5 wt % Zn	-180 a -10	10
In-Ti	18/23 at % Ti	60 a 100	4
Ni-Al	36/38 at % Ti	-180 a 100	10
Ni-Ti	49/51 at % Ni	-50 a 110	30
Fe-Pt	25 at % Pt	-130	4
Mn-Cu	5/35 at % Cu	-250 a 180	24
Fe-Mn-Si	32 wt%Mn; 6 wt% Si	-200 a 150	100

Fuente: (sma-inc.com)

De la Flor López (2005) En su memoria de tesis doctoral manifiesta que “Las aleaciones NiTi son capaces de sufrir deformaciones relativamente altas sin que sean permanentes (alrededor del 8-10%), son relativamente estables frente a las aplicaciones cíclicas, tienen una elevada resistividad eléctrica y son resistentes a la corrosión. Además, su rango moderado de solubilidad permiten cambios en la composición de la aleación para combinarse con elementos ternarios”.

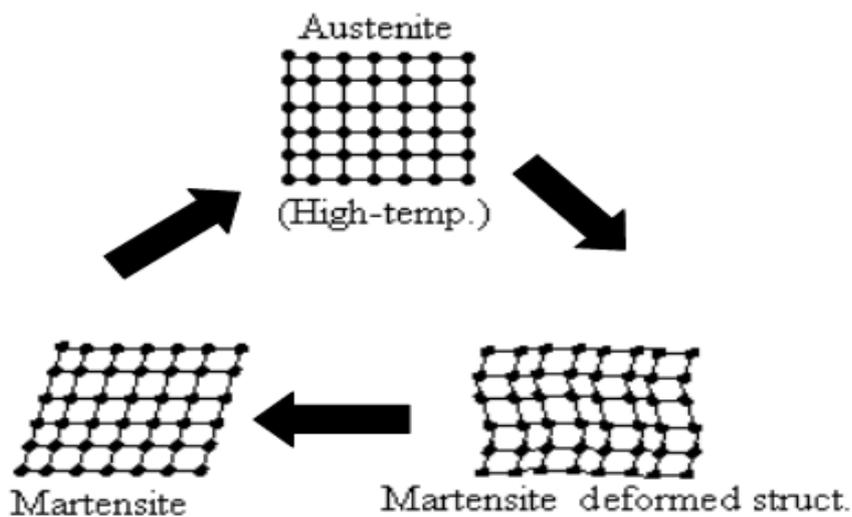
En la Tabla 2.2 se puede comparar las propiedades de esta aleación con el acero inoxidable AISI316.

**Tabla 2.2 Comparación de la aleación NiTi con un acero inoxidable AISI316**

<i>Propiedad</i>	<i>NiTi SMA</i>	<i>Acero inoxidable</i>
Deformación recuperable(%)	8	2
Módulo de elasticidad (MPa)	8,7*10 <sup>4</sup> (A); 1,4*10 <sup>4</sup> (M)	2.07*10 <sup>5</sup>
Resistencia a la cedencia (MPa)	200-700 (A); 70-140 (M)	248-517
Resistencia última a tracción (MPa)	900 (f.a.); 2000 (w.h)	448-827
Elongación a rotura (%)	24-50 (f.a.); 5-10 (w.h.)	20
Resistencia a la corrosión	Excelente	Muy Buena

A y M significan austenita y martensita respectivamente; f.a. se refiere al término “totalmente recocido (fully annealed) y w.h trabajado en frío (work hardened). Fuente: (Wayman, 1992)

Gilbertson, Miranda, & Tuchman (2003) manifiestan que “El cable simplemente reduce su longitud, conservando su volumen volviéndose cada vez más gruesa a razón del 4 a 8%. Las aleaciones con memoria, cuando son enfriadas de su forma de austenita a alta temperatura, se someten a una transformación de fase en su estructura cristalina y se vuelve más débil, transformándose en forma de martensita a baja temperatura” como se muestra en la Figura 2.9



**Figura 2.9 Mecánica del efecto memoria de forma**

Fuente: (Gilbertson, Miranda, & Tuchman, 2003)

El diámetro del alambre de nitinol es una característica importante ya que de él se desprenden muchas propiedades físicas como la deformación; el nitinol, puede soportar grandes fuerzas y deformarse elásticamente, más que otros materiales, entre un 6% a 10% sin sufrir deformaciones permanentes, tiene una alta resistencia a la fatiga, y una moderada resistencia al impacto. En la Tabla 2.3 se muestra sus propiedades físicas. (Forero & Vesga, 2007)

Tabla 2.3 Propiedades físicas de las aleaciones Ni-Ti

1. Density	0.235 lb/in <sup>3</sup> (6.45 g/cm <sup>3</sup> )
2. Specific Heat	0.20 BTU/lb * °F (0.2 cal/g * °C)
3. Melting Point	2370 °F (1300 °C)
4. Latent Heat of Transformation	10.4 BTU/lb (5.78 cal/g)
5. Thermal Conductivity	10.4 BTU/hr * ft * °F (0.18 W/cm * °C)
6. Thermal Expansion Coefficient	
Martensite	3.67x10 <sup>-6</sup> /°F (6.6x10 <sup>-6</sup> /°C)
Austenite	6.11x10 <sup>-6</sup> /°F (11.0x10 <sup>-6</sup> /°C)
7. Poisson Ratio	0.33
8. Electrical Resistivity (approx.)	
Martensite:	32 micro-ohms * in (80 micro-ohms * cm)
Austenite:	39 micro-ohms * in (100 micro-ohms * cm)

Fuente: (Dynalloy Inc.)

La corriente de trabajo está en dependencia del diámetro del alambre. Hilos más gruesos requieren corrientes más altas para calentarse. Los niveles pueden variar desde unos 50mA para los alambres más delgados, hasta 1A para los alambres con fuerza de 930 gramos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los alambres musculares se contraen cuando se calientan. Esto quiere decir que si el ambiente de trabajo es muy frío, tal vez se deba usar una corriente un poco más alta que la que viene en la hoja técnica del alambre. (Carrasco & Díaz, 2003)

La velocidad de respuesta es muy variable. Debido a que se contraen cuando su temperatura llega a cierta temperatura de activación predefinida de fábrica, alambres muy delgados son capaces de contraerse en una décima o centésima de segundo. Sin embargo, para relajarse de nuevo necesitan enfriarse, lo cual depende de la temperatura ambiente y del diámetro del alambre. Se pueden llegar a tener varios ciclos por segundo con alambres delgados (50 micras de diámetro) o un ciclo cada tres o cuatro segundos si el alambre es muy grueso y hace calor. Como regla general, las aleaciones con memoria de forma se contraen muy rápido, pero suelen tomarse el doble o triple de tiempo para relajarse de nuevo. (Carrasco & Díaz, 2003)

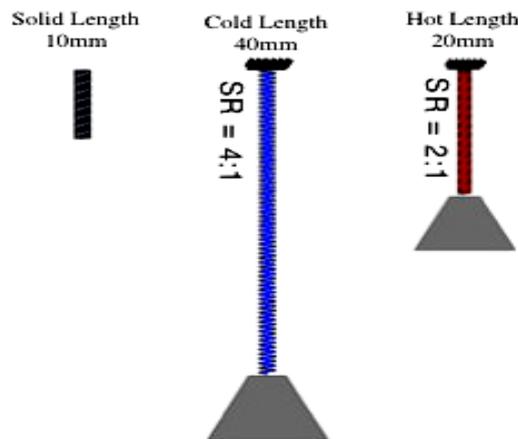
Existe un alambre nitinol, con el nombre flexinol el cual es un resorte que se ha entrenado para que funcione como un actuador. Estos, pueden ser una alternativa a los cables, para aplicaciones con baja fuerza y altos

requerimientos. Estos muelles pueden contraerse y relajarse múltiples veces su longitud, cuando se utilizan, dentro del rango correcto, entonces la obtención de movimiento repetitivo para millones de ciclos es razonable. (Dynalloy Inc.)

La relación de estiramiento "SR" se define como cualquier longitud "L" sobre la longitud sólida "SL", en cualquier estado, caliente o frío.

$$SR = \frac{L}{SL}$$

Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2.10, un muelle con un SR de 4 en frío y 2 en caliente, suponiendo una longitud sólida "SL" de 10mm generaría entonces 20 mm de estiramiento en caliente y 40 mm de estiramiento en frío. (Dynalloy Inc.)



**Figura 2.10** Relación de estiramiento SR en muelles de Flexinol

Fuente: (Dynalloy Inc.)

El resorte usualmente se utiliza aplicando una fuerza de tensión opuesta a la dirección de su contracción. Esta fuerza repone al alambre a su longitud original en la fase de baja temperatura. A esta fuerza aplicada se le llama fuerza de extensión.

### 2.2.2 Parámetros eléctricos

La Tabla 2.4 contiene pautas generales en cuanto a la cantidad de corriente y la fuerza esperada con diversos resortes de Flexinol.

**Tabla 2.4 Valores de relación de estiramiento (SR) en resortes de flexinol**

Spring Wire Diameter in(mm), Outer Diameter in(mm)	SR Cold, SR Hot*	Displacement / Coil in(mm)	Resistance on Straight Wire ohms/inch (ohms/meter)	Heating Pull Force** pounds (grams)	Cooling Deformation Force** pounds (grams)	Approximate*** Current for 2 Seconds Contraction (A)	Cooling Time 194° F, 90°C "HT" Wire**** (seconds)
0.020 (0.51), 0.11 (2.79)	16, 7	0.18 (4.6)	0.11 (4.33)	0.536 (243.3)	0.215 (97.32)	3.4	15.0
0.015 (0.381), 0.10 (2.54)	15, 6	0.14 (3.4)	0.21 (8.27)	0.307 (139.3)	0.122 (55.72)	1.9	9.0
0.008 (0.203), 0.09 (2.18)	14, 5	0.07 (1.8)	0.74 (29.13)	0.089 (39.3)	0.035 (15.94)	0.7	3.0

\*Los valores "SR" son típicamente exactos, pero siguen siendo valores aproximados.

\*\*La fuerza de tracción de calefacción se basa en aproximadamente 25.000 psi (172 MPa), lo que para muchas aplicaciones es la tensión máxima de seguridad para el cable. Sin embargo, muchas aplicaciones utilizan los niveles de estrés superiores e inferiores. Esto depende de las condiciones específicas de un determinado diseño. La fuerza de deformación de refrigeración se basa en ~ 10.000 psi (70 MPa), que es un buen punto de partida en un diseño. Sin embargo, este valor también puede variar dependiendo de cómo se utiliza el material

\*\*\* El tiempo de contracción está directamente relacionado con la entrada de corriente. Las cifras utilizadas aquí son sólo aproximadas a temperatura ambiente, las corrientes de aire y disipación de calor de los dispositivos específicos varían. Tanto la calefacción y la refrigeración pueden cambiar drásticamente.

\*\*\*\* Tiempo de enfriamiento aproximado, a temperatura ambiente en aire estático, usando un resorte vertical. El último 0,5 % de deformación no se utiliza en estas aproximaciones. HT = Alta Temperatura Flexinol® (actuador primavera). Fuente: (Dynalloy Inc.)

De la Tabla 2.4. Se puede concluir que, una de las razones por las cuales al flexinol se lo utiliza en la robótica y la medicina, es que este material en sus diversas presentaciones son altamente resistivos; por ejemplo, el resorte de 0.203 milímetros de diámetro tiene una resistencia de 0,29 ohmios por centímetro, esta resistencia del alambre a la corriente produce, en teoría, el calor suficiente para llevar al resorte a su temperatura de transición.

El resorte consume aproximadamente 0.7 A en 2 segundos en su etapa de enfriamiento

La relación SR en contracción (caliente) es de aproximadamente 5 a 1 y la relación SR en relajación (frío) es de aproximadamente 14 a 1, las cuales dependen esencialmente de la temperatura.

Se puede utilizar cualquier método que se desee para calentarlo y enfriarlo, pero pueden cambiar drásticamente de un método a otro.

### 2.2.3 Temperaturas de trabajo

En la Figura 2.11 se muestra la relación temperatura-deformación para dos aleaciones con diferente rango de temperatura entre las fases austenítica y martensítica de 70°C y 90°C.

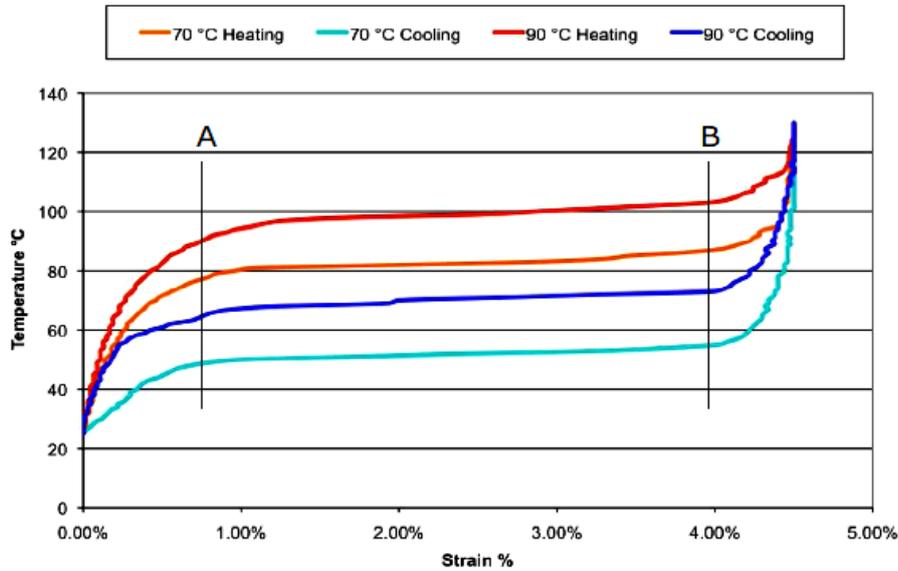


Figura 2.11 Porcentaje deformación nitinol respecto a temperatura

Fuente: (Dynalloy Inc.)

De la Figura 2.11 se puede apreciar que el Flexinol tiene un comportamiento poco lineal. A partir de una temperatura de 100°C para los alambres HT y de los 85°C para el alambre LT; el Flexinol, experimenta una contracción brusca que se traduce en el cambio de fase o transformación austenítica de manera inmediata. De la misma manera, el cambio de fase o la transformación martensítica durante el enfriamiento también es violento. Se puede concluir que para que el material tenga un comportamiento aceptable, es decir sin cambios bruscos o excesivamente violentos se debe en lo posible permanecer en la zona en la cual el material tiene un comportamiento lineal, es decir la zona (A-B) durante el calentamiento y el enfriamiento.

**Transformación austenítica.-** “La temperatura está por encima de la temperatura de transición. El movimiento que se genera en esta fase se debe a que la estructura cristalina vuelve a su estado no tensionado (cúbico). La temperatura exacta de transición es según sea la composición exacta de la

aleación del nitinol, como se muestra en la Figura 2.12; generalmente, las aleaciones comerciales tienen temperaturas de transición de entre 70° C a 130°C.” (De la Flor López, 2005)

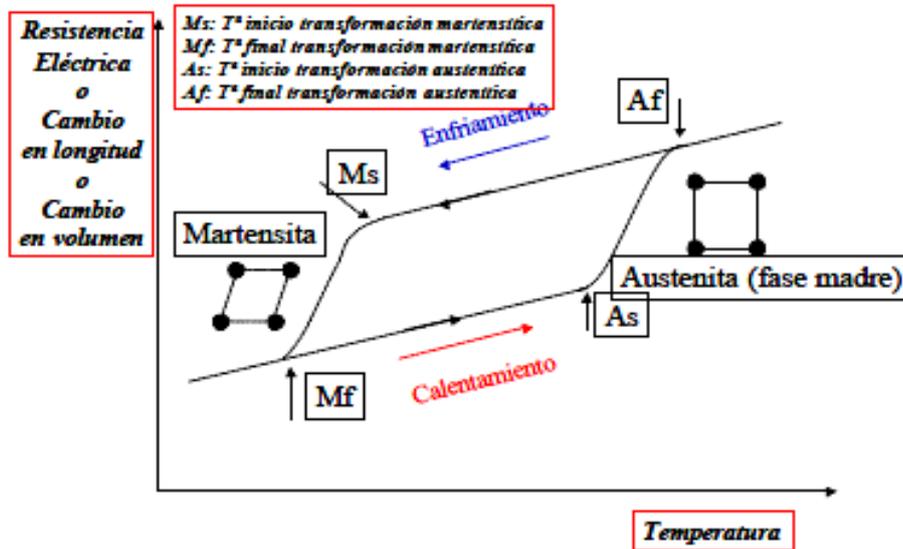


Figura 2.12 Representación hipotética de los cambios en las propiedades vs temperatura en una transformación martensítica de una aleación con memoria de forma.

Fuente: (De la Flor López, 2005)

**Transformación martensítica.-** “Se forma enfriando desde una fase a alta temperatura llamada fase madre o austenita. Son, además, transformaciones independientes de la difusión que se produce de modo instantáneo y manteniendo una relación de orientación entre la fase madre y la martensítica”. (De la Flor López, 2005)

**Transformación por desplazamiento.-** “No requieren un amplio rango de movimiento y en este caso los átomos se reordenan para llegar a una nueva estructura cristalina más estable pero sin cambiar la naturaleza química de la matriz. Dado que no es necesaria una migración atómica, estas transformaciones por desplazamiento generalmente son independientes del tiempo y el movimiento entre las dos fases es tremendamente rápido, estando limitado solo por la velocidad del sonido. Se suelen llamar transformaciones a térmicas, dado que la cantidad de nueva fase creada usualmente depende sólo de la temperatura y no de la cantidad de tiempo a esa temperatura”. (De la Flor López, 2005)

Los términos martensita y austenita originalmente se referían sólo a fase de aceros, pero en la actualidad el término se refiere no solo al material sino al tipo de transformación.

**Transformación por difusión.-** Son aquellas en las que sólo se puede formar una nueva fase moviendo átomos aleatoriamente a distancias relativamente grandes. Se requiere un amplio rango de difusión porque la nueva fase es de diferente composición química que la matriz de la que se forma. Dado que se requiere una migración atómica, la evolución de este tipo de transformación depende del tiempo y la temperatura. (De la Flor López, 2005)

La soldadura del alambre de Nitinol a sí misma ha sido desarrollada exitosamente mediante el uso de láser de CO<sub>2</sub>, Soldadura TIG y soldadura resistente bajo una atmósfera protectora de Ar o He. La Superelasticidad y el efecto de forma son generalmente bien preservados mediante estos procesos de soldadura (Hirose, Uchihara, Araki, Honda, & Kodoh, 1990)

En aleaciones 50% NiTi a bajas presiones de oxígeno ( $10^{-4}$  torr) y temperatura ambiente, el Ti forma óxidos TiO<sub>x</sub>, mientras que el Ni permanece en su forma metálica aún después de 40 minutos de exposición al oxígeno. A 400°C y  $10^{-4}$  Torr de oxígeno, inducida por el oxígeno, la segregación Ti se logra con la oxidación selectiva de Ti, resultando en una superficie casi totalmente cubierta con TiO<sub>2</sub>. El resultado de la oxidación a baja presión y a presión atmosférica son muy similares excepto que la formación de óxidos de Ni es observada después del primer minuto. A 450°C y presión atmosférica, áreas que comprenden una mezcla de NiO y TiO<sub>2</sub>, de la misma manera áreas que solo comprenden TiO<sub>2</sub>, son formadas en la superficie, bajo esta capa se encuentra una capa de TiO<sub>2</sub> completamente. (Chan, Trigwell, & Duerig, 1990)

La Figura 2.13 presenta un resumen del proceso de oxidación a diferentes temperaturas y presiones de oxígeno.

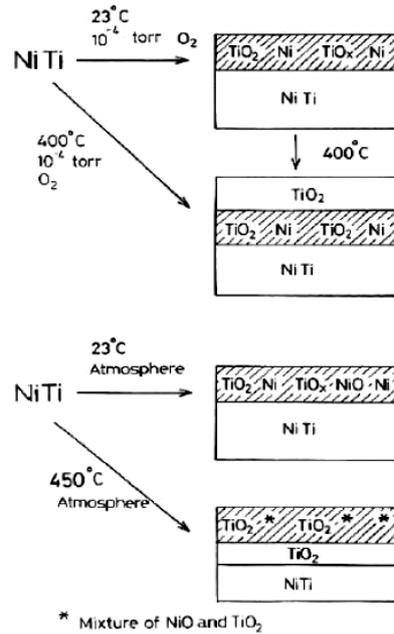


Figura 2.13 Diagrama esquemático de oxidación del compuesto 50%NiTi

Fuente: (Chan, Trigwell, & Duerig, 1990)

“La aleación de NiTi está protegido de la corrosión por una capa de óxido (principalmente TiO<sub>2</sub>) a base de Ti altamente estable y biocompatible”. (Trepanier & Pelton, 2002)

### 2.3 Fundamentación legal

El Ecuador en su constitución aprobada en 2008, establece políticas y normativas para el uso adecuado de energía así como también promueve el uso de tecnologías ambientalmente limpias. Entre las cuales se puede destacar:

**Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

**Art. 313.-** El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.

Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la

refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.

**Art. 314.-** El Estado será responsable de la provisión de servicios públicos de agua potable y riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias y los demás que determine la ley.

**Art. 413.-** El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

De entre las políticas trazadas en el “Plan Nacional para el Buen Vivir” 2013-2017, se puede destacar:

**Política 11.1.t-** Fortalecer la investigación científica en los ámbitos energéticos, de industrias básicas y de generación y uso sustentable de energía renovable, para la industria, los hogares, el transporte y la producción.

## **2.4 Definición de términos básicos**

**Aleaciones.-** “Una aleación es una sustancia que tiene propiedades metálicas y está constituida por dos o más elementos químicos, de los cuales por lo menos uno es un metal”. (Avner, 1987)

**Corrosión.-** En sentido amplio, la corrosión puede definirse como “la destrucción de un material por interacción química, electro química o metalúrgica entre el medio y el material”. Generalmente es lenta, pero de carácter persistente”. (Avner, 1987)

**Estructura cristalina.-** Formación de cristales en estado sólido que tienden a adoptar posiciones relativamente fijas. (Avner, 1987)

**Flexinol.-** Nombre comercial dado por la compañía Dynalloy Inc. Son alambres termocontraíbles (a los que también se les llama "alambre muscular") se hacen de nitinol. (Dynalloy Inc.)

**Histéresis.-** “Diferencia de temperatura o presión para la transición de una fase a otra en dirección directa o inversa”. (Costa, 2005)

**Materiales con memoria de forma.-** Se definen como aquellos materiales (aleaciones metálicas SMA y polímeros) capaces de “recordar” su forma y capaces de volver a esa forma incluso después de haber sido deformados. Este efecto de memoria de forma se puede producir por un cambio térmico o magnético. (Johnson D. , 1988)

**Nitinol.-** “Usado normalmente en la industria para referenciar cualquier alambre con base en aleación níquel titanio. El efecto de memoria de forma fue observado en aleaciones de NiTi en el año 1963, en las instalaciones del laboratorio de la marina americana (Naval Ordnance Laboratories-NOL, lo que dio lugar al acrónimo nitinol para referirse a la aleación)”. (Buehle, Gilfrich, & Wiley, 1963)

**Oxidación.-** “Reacción en la que existe un incremento en valencia resultante de una pérdida de electrones”. (Avner, 1987)

**Superelasticidad.-** “Capacidad que posee un material de almacenar energía”. (De la Flor López, 2005)

**Torricelli.-** “El término torr (en honor a Evangelista Torricelli, 1608-1647, el iniciador de los trabajos en la tecnología del vacío) se introdujo para una presión ejercida por una columna de 1 mmHg”. (Van Wylen & Sonntag, 1972)

## **2.5 Conclusiones del capítulo**

En la mayoría de los casos aplicativos; el flexinol, se encuentran en diversos estudios, en los campos de la robótica y la medicina; es escasa la información sobre máquinas térmicas limpias utilizando este material como materia prima para el desarrollo e innovación.

En el Ecuador no se han encontrado investigaciones al respecto en ninguno de los campos antes descritos, esta solamente limitado al uso del mismo; especialmente, como actuador en la robótica.

El flexinol puede ser activado de dos maneras; suministrándole corriente eléctrica con voltajes bajos que por lo general son de 10 a 20 voltios, o suministrándole calor dentro de los rangos permisibles de trabajo del material, que es uno de los objetivos de esta investigación.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

El desarrollo de la presente investigación está basado en una metodología experimental, tomando en cuenta que lo que se busca es relacionar generación de energía (variable dependiente) a partir de las mediciones del potencial eléctrico generado por el flexinol (variable independiente).

#### 3.1 Modalidad de la investigación

La modalidad de la investigación es:

**Bibliográfica** debido a que la investigación parte del análisis de la literatura existente de uno o varios autores, en las que el flexinol interviene como un elemento importante o de relevancia.

**De Campo** ya que el investigador observa y registra los datos obtenidos en los experimentos realizados con el resorte de flexinol a diversas temperaturas en tablas y graficas; así como, el voltaje que puede suministrar el prototipo; además, se reconoció zonas con potencial geotérmico en el País en las cuales existe la posibilidad y factibilidad de implementar el prototipo de generación de energía limpia.

**Explicativa** ya que, luego de confrontar las variables y analizando la hipótesis se da una explicación clara y precisa de los resultados, tratando en lo posible de identificar la causa – efecto por el cual se produce el fenómeno que se analiza, con la intención de lograr el máximo entendimiento del lector.

**Factible** ya que, utilizando diferentes técnicas de medición, con respecto al movimiento de contracción y relajación del flexinol, permitió solucionar el problema de manera práctica.

### **3.2 Forma y nivel de la investigación**

La forma de investigación es aplicada, ya que a través del control de la variable en este caso la temperatura, permitió obtener datos de voltaje y amperaje generados por el resorte de flexinol.

El nivel es integrativo, ya que se confirmó y evaluó la variable independiente

### **3.3 Tipo de investigación**

La investigación es proyectiva y exploratoria, ya que al ser una investigación factible al final se tradujo en la elaboración de una propuesta para solucionar el problema. La metodología es experimental, ya que existe por parte del investigador la intención de manipular las variables y concentrarse en la observación.

### **3.4 Unidad de estudio**

El proyecto se basó en la experimentación, ya que lo que se pretendió es observar la variación que presenta el flexinol con respecto a la temperatura. Para el muestreo, se tomó un dato cada segundo en función del tiempo que le toma al hielo disolverse en el agua y se realizó un promedio por cada cambio de temperatura en grados del agua fría como base y aumentando en el controlador la temperatura del agua caliente. Se realizaron cincuenta repeticiones del experimento.

### **3.5 Métodos y técnicas a ser empleadas**

Como se mencionó la observación es el método que predomina en esta investigación la misma que se la realizó de manera consciente, planificada y objetiva. Los datos obtenidos son registrados de manera cuidadosa, para lo cual se utilizó fichas y registros que permitan cuantificar y conservar los datos como resultado de las observaciones.

El método sintético ya que lo que se pretendió es integrar las partes que componen el fenómeno físico en un todo, tratando de comprender los aspectos y relaciones básicas que lo determinan.

El método hipotético deductivo ya que en base a un planteamiento particular se pretendió realizar un procedimiento basado en la observación y la experimentación.

### **3.6 Operacionalización de las variables**

Partiendo de que la variable independiente es el flexinol se tiene:

**Tabla 3.1 Operacionalización de las variables**

**VARIABLE INDEPENDIENTE: Potencial eléctrico del Flexinol**

Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos
Flexinol es un alambre de metal cuyos componentes principales son el níquel y el titanio. Cuando la corriente pasa a través de él o se calienta reduce su longitud y es capaz de levantar o mover objetos. Se lo puede aplicar en la robótica, cirugía, automatización industrial o aplicaciones militares	Dimensión del alambre	Diámetro resorte 0.02-0.051	mm	Investigación bibliográfica	Libros, catálogos, artículos técnicos, internet Calibrador digital
	Parámetros físicos	Temperatura de trabajo (contracción y relajación) 1-15 <sup>0</sup> C (agua fría) 60-80 <sup>0</sup> C (agua caliente)	<sup>0</sup> C	Experimentación	Medición caliente, agua fría, hielo); temopar tipo K, controlador de temperatura

**VARIABLE DEPENDIENTE: Generación de energía limpia**

Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos
La energía limpia es un sistema de producción de energía con exclusión de cualquier contaminación por lo tanto aquellas que no generan residuos	Eficiencia energética	Voltaje 0-2 (Voltios)	V	Experimentación	Medición: Multímetro
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

**Fuente: Autor**

### 3.7 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de esta investigación se recogen en la Tabla 2.1 que nace de la operacionalización de las variables:

Tabla 3.2 Instrumentos

	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
VARIABLE INDEPENDIENTE	Diámetro	Investigación bibliográfica	Libros, catálogos, artículos técnicos, internet Medición (Calibrador digital)
	Temperatura de trabajo	Experimentación	Medición (agua fría y caliente) Termopar, Controlador de temperatura EC5N, calentador de agua, multímetro digital
VARIABLE DEPENDIENTE	Voltaje	Experimentación	Medición Multímetro
	Costo	Cálculos	Ecuaciones

Fuente: Autor

#### 3.7.1 Diámetro de los alambres de nitinol

Los dos tipos más comerciales de alambres musculares son los que requieren temperaturas de 70 y 90 grados centígrados para activarse. Los de 90 grados tienen la denominación HT (High Temperature), mientras que los de 70 grados se denominan LT (Low Temperature). El nombre de estos alambres se divide en tres partes: la marca, como por ejemplo Flexinol, luego viene el diámetro en micras, y finalmente si es HT o LT. Por ejemplo Flexinol 100 HT, es un alambre de 100 micras de diámetro que se activa a 90 grados centígrados. (Carrasco & Díaz, 2003).

Para el trabajo investigativo se utilizó un calibrador digital obteniendo como resultado que el resorte de flexinol tiene un diámetro exterior de 5.5 mm; y un diámetro de alambre de 0.35 mm.

### 3.7.2 Microestructura del flexinol

En los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se procede a determinar la metalografía del resorte para lo cual se realiza probetas atacadas en frío y en caliente.

El control de la microestructura se la realizó en cinco muestras cortadas transversalmente en el resorte de flexinol, de aproximadamente 1 cm de longitud cada una. Las muestras del material fueron montadas para el ataque en frío: por cada 100 ml de resina poliéster se utiliza 12 gotas de peróxido y 10 de cobalto con una razón de 1 % de peróxido (meck) y 1.2% de cobalto como acelerante. El resultado del ataque se muestra en la Figura 3.1.

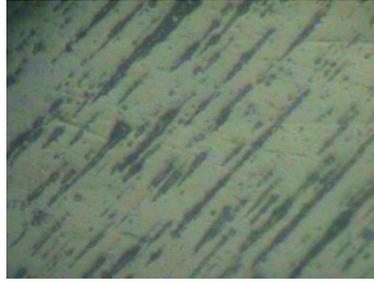
Para el pulido se utilizaron lijas de distintas mallas y luego se aplicó un pulido con una solución de alúmina con agua destilada.



**Figura 3.1 Montaje de muestras en resina para ataque en frío con pulido de 0.05 um**

**Fuente: Autor**

Para revelar la microestructura del flexinol se toma como referencia a lo indicado por: (Forero & Vesga, 2007) y modificado por el autor: atacada con reactivo universal de ácido molíbdico ( $H_2MoO_4$ ) hasta saturación y 5% de ácido fluorhídrico (HF) durante 40 segundos y añadido 5 ml de ácido nítrico ( $HNO_3$ )



**Figura 3.2 Probeta en frío (400x)**

**Fuente: Autor**

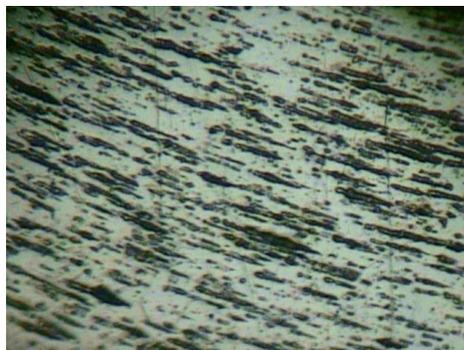
Para el ataque en caliente: con el mismo procedimiento se utiliza bakelita en la máquina universal con 7 minutos de presión de 200 bares y 110 °C de temperatura, luego se pule con una solución de alúmina y agua destilada. Los resultados se muestran en la Figura 3.4.



**Figura 3.3 Montaje de muestras para en bakelita para ataque en caliente con pulido de 0.05 um**

**Fuente: Autor**

Para el ataque en caliente se utiliza reactivo universal de ácido molibdeno hasta saturación y 5% de ácido fluorhídrico durante 35 segundos y se añade 5ml de ácido nítrico. El resultado del ataque se muestra en la Figura 3.4



**Figura 3.4 Probeta en caliente (400x)**

**Fuente: Autor**

Las superficies observadas de las muestras tanto en frío Figura 3.2, como en caliente Figura 3.4, mostraron una estructura martensítica en forma de láminas o tiras.

### 3.7.3 Determinación de temperatura de trabajo

Para la determinación de la temperatura de trabajo del flexinol se procede de la siguiente manera:

Mediante el uso de un motor ecológico (Anexo 1), dos tanques reservorios (un contenedor de agua caliente y otro de agua fría) como se muestra en la Figura 3.5 .



**Figura 3.5 Motor ecológico**

**Fuente: Autor**

Se procede como primer paso llenar el contenedor de agua caliente hasta la mitad del contenedor y se mantiene la temperatura a través del uso del controlador de temperatura Figura 3.6 marca Onrom serie E5CN y un calentador de agua cerámico de 5 Watios de potencia Figura 3.7, para mantener la temperatura.



**Figura 3.6 Controlador de temperatura serie E5CN**

**Fuente: (catálogo Onrom)**

Se procede a llenar el contenedor de agua fría hasta aproximadamente la cuarta parte del tanque y luego se introduce hielo hasta completar la mitad del contenedor



**Figura 3.7 Calentador de agua cerámico de 5 Watts de potencia**

**Fuente: Autor**

Las lecturas de temperatura y voltaje se las realizó a través del multímetro digital serie DT9028A Figura 3.8, acoplado a uno de ellos un termopar tipo K mostrado en la Figura 3.9 y un motor dc de la serie AFF-050SK (Anexo 3) al cual se lo hace trabajar como un generador en el otro.



**Figura 3.8 Multímetro digital serie DT9028A**

**Fuente: Autor**



**Figura 3.9 Termopar tipo K**

**Fuente: Autor**

El número de revoluciones al que gira el motor se la realizó, mediante el uso del instrumento testo 470 mostrado en la Figura 3.10



**Figura 3.10** Medidor del número de revoluciones Testo 470

**Fuente:** Autor



**Figura 3.11** Prueba de toma de datos

**Fuente:** Autor

Los resultados se detallan en el capítulo IV

### **3.8 Conclusiones del capítulo**

Se comprobó que el material en su estado normal de equilibrio tiene una estructura martensítica en forma de láminas. El resorte utilizado es del tipo LT

Mediante el procedimiento se puede establecer de manera aproximada las temperaturas de trabajo del resorte flexinol, y el número de revoluciones al que gira el motor ecológico; pero los datos obtenidos no son exactos debido a que los instrumentos utilizados no pueden medir con decimas.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestra las temperaturas de funcionamiento del alambre de flexinol.

#### 4.1 Temperaturas, número de revoluciones y voltaje

Para la determinación del número de revoluciones y el voltaje, se parte de los datos registrados, se agrupan en función de la temperatura de agua fría y se grafican.

En las Figura 4.1 y 4.2 se muestra los resultados del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo constante la temperatura de agua fría en 1°C

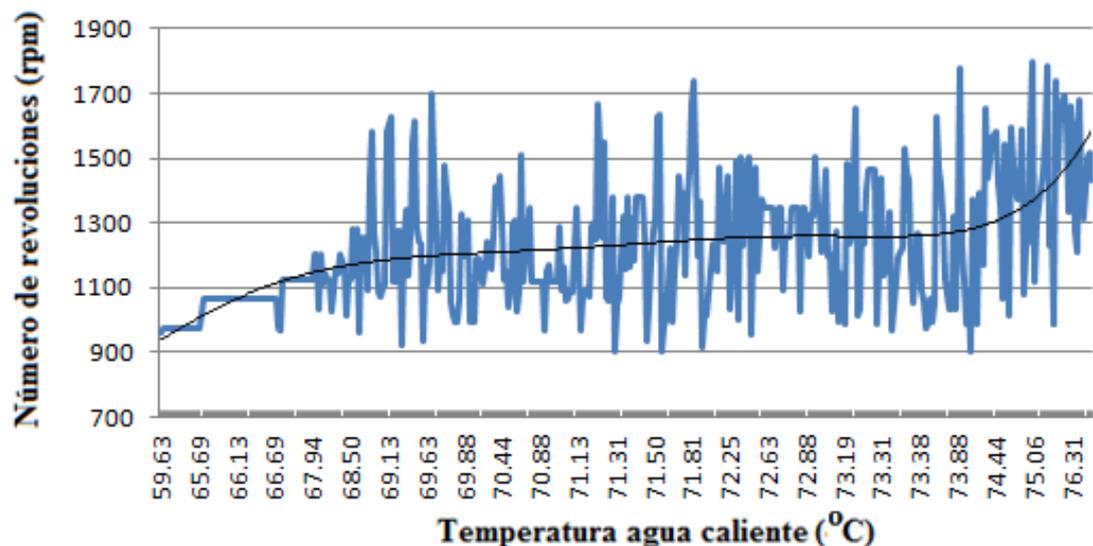


Figura 4.1 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 1°C

Fuente: Autor

De la Figura 4.1 se puede apreciar que a mayor temperatura el número de revoluciones se incrementa; la temperatura normal de trabajo con agua caliente se encuentra entre los 68°C a los 74°C.

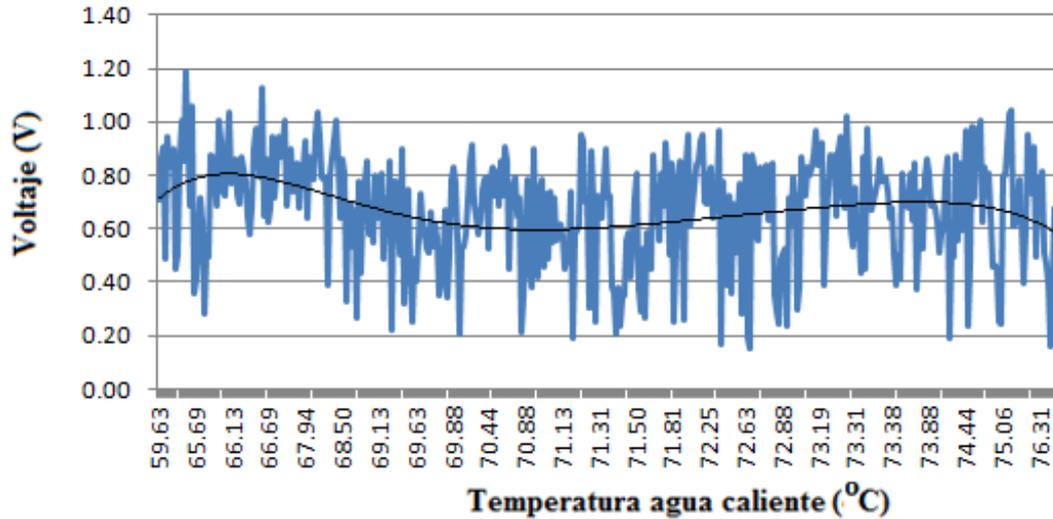


Figura 4.2 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 1 °C

Fuente: Autor

De la Figura 4.2 se puede concluir que el voltaje tiene un comportamiento con tendencia a decrecer a medida que la temperatura de agua caliente se incrementa; en el rango establecido en la Figura 4.1 se puede obtener voltajes de 0.6 a 0.7 voltios.

En las Figura 4.3 y 4.4 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 2°C.

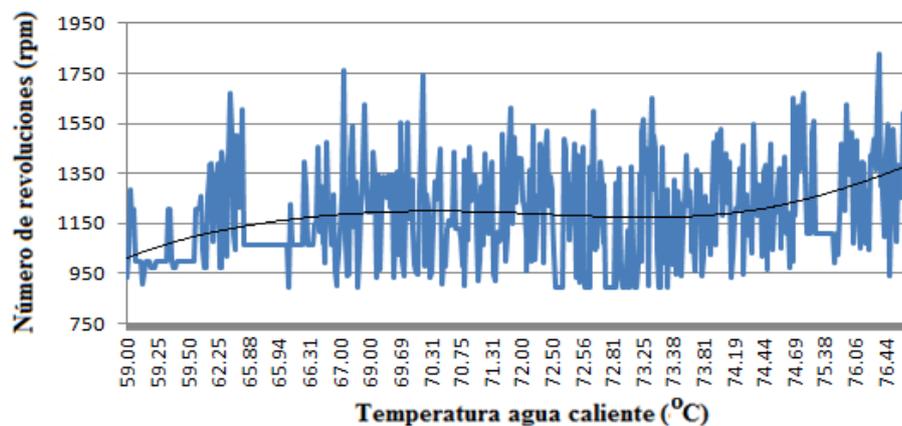


Figura 4.3 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 2 °C

Fuente: Autor

De la Figura 4.3 se puede observar que el número de revoluciones tiene una tendencia a crecer a medida que la temperatura aumenta; el rango de trabajo está comprendido entre los 65°C a los 74°C

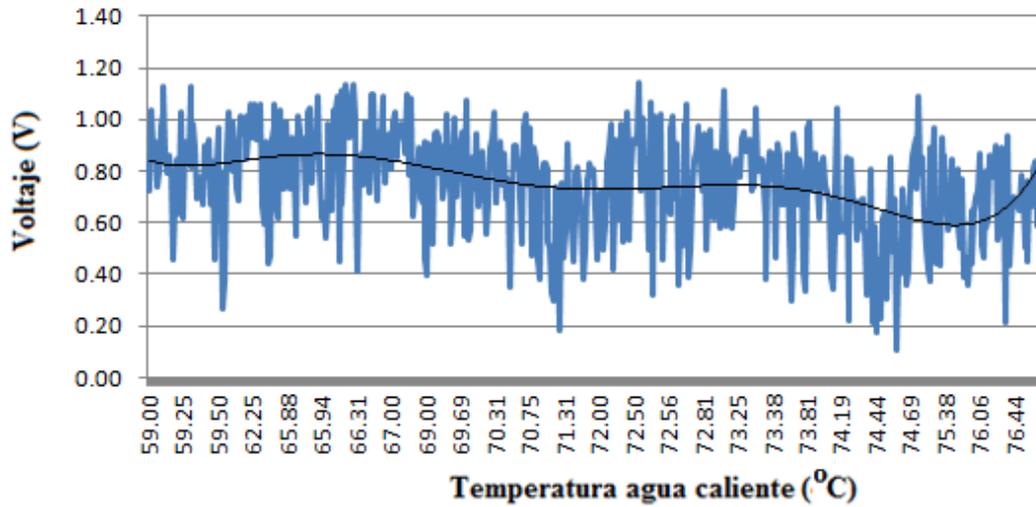


Figura 4.4 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 2 °C

Fuente: Autor

De la Figura 4.4 se puede observar que el voltaje decrece a medida que la temperatura aumenta; en el rango establecido en la Figura 4.3 se puede obtener voltajes comprendidos entre los 0.6 a 0.8 voltios.

En las Figura 4.5 y 4.6 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 3°C.

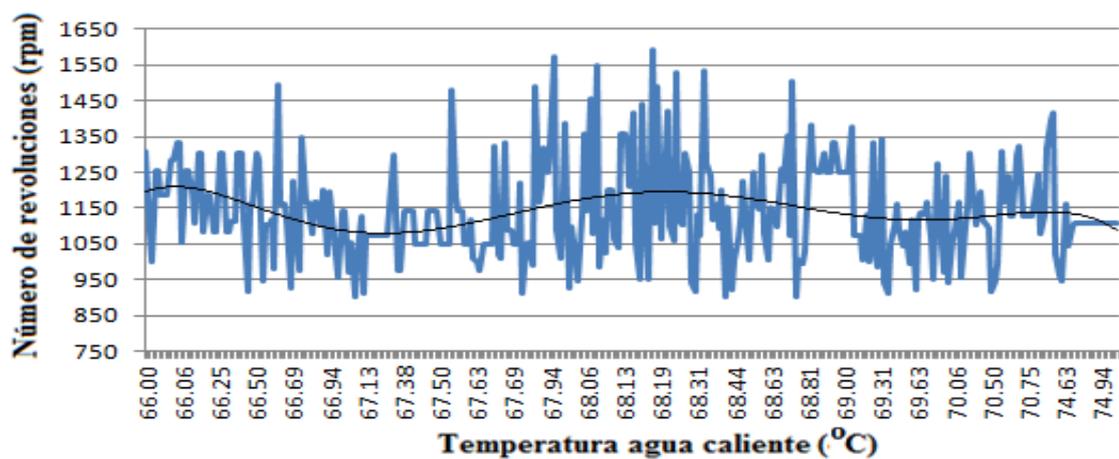
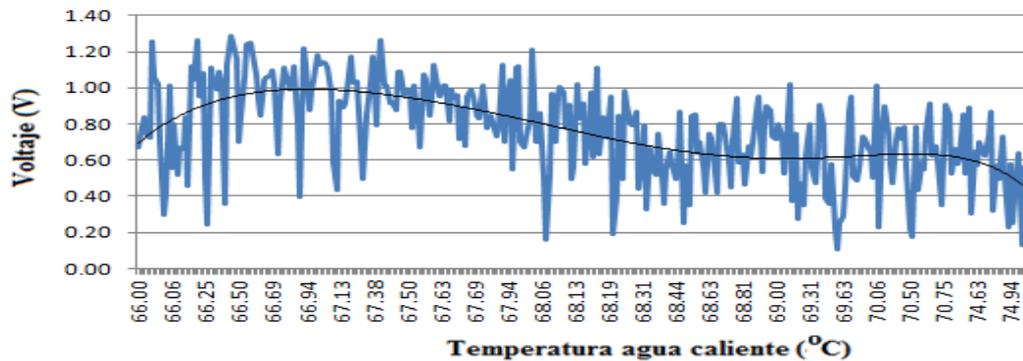


Figura 4.5 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 3 °C

Fuente: Autor

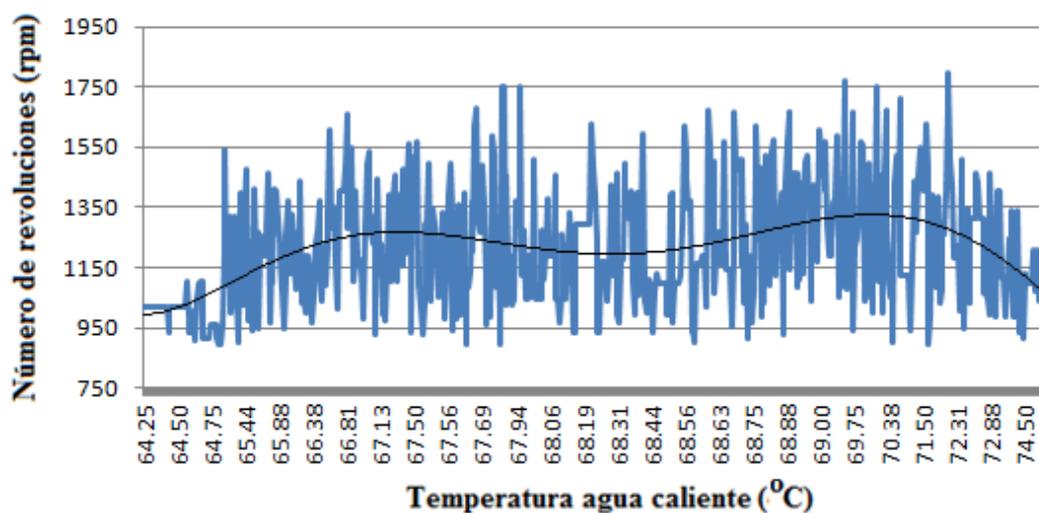
En la Figura 4.5 se puede observar que el número de revoluciones tiene una tendencia a permanecer constante; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 66°C a los 75°C.



**Figura 4.6 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 3 °C**  
Fuente: Autor

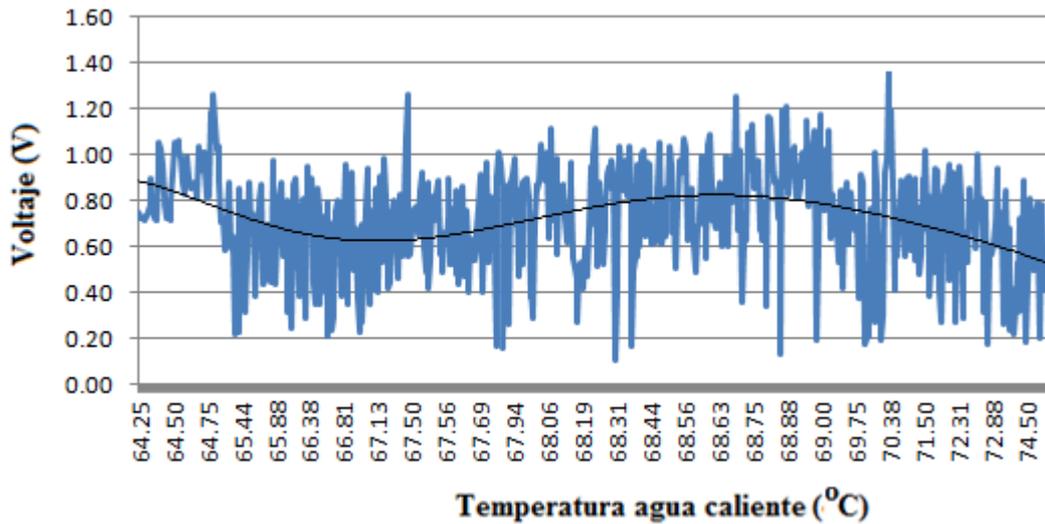
En la Figura 4.6 se puede observar que el voltaje decrece a medida que sube la temperatura de agua caliente; con la temperatura descrita en la Figura 4.5 se obtienen voltajes comprendidos entre los 0.55 a 0.95 voltios.

En las Figura 4.7 y 4.8 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 4°C.



**Figura 4.7 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 4 °C**  
Fuente: Autor

En la Figura 4.7 se puede notar que el número de revoluciones decrece cuando aumenta el número de revoluciones; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 66°C a los 70°C.

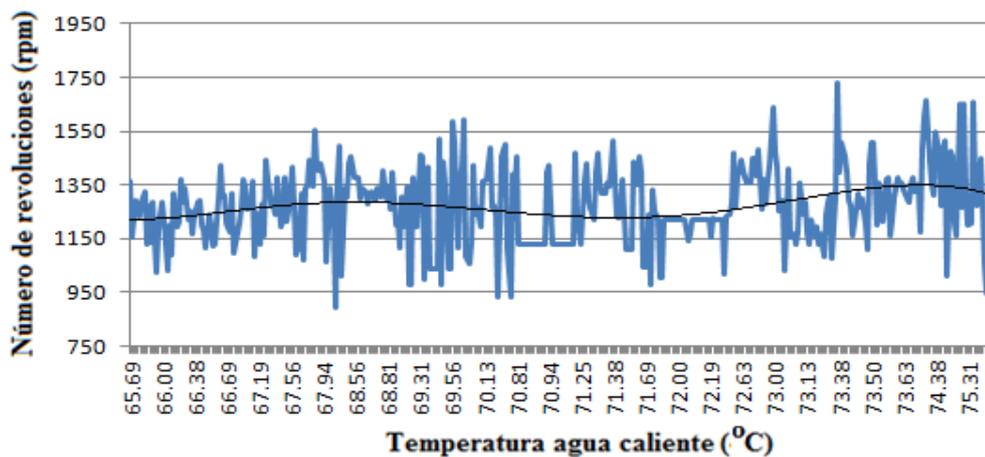


**Figura 4.8 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 4 °C**

**Fuente: Autor**

En la Figura 4.8 se puede observar que el voltaje decrece cuando se aumenta la temperatura de agua caliente; con la temperatura descrita en la Figura 4.7 se obtienen voltajes comprendidos entre los 0.6 a 0.8 voltios.

En las Figura 4.9 y 4.10 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 5°C



**Figura 4.9 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 5 °C**

**Fuente: Autor**

En la Figura 4.9 se puede observar que el número de revoluciones tienen una tendencia a permanecer constante; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 65°C a los 75°C.

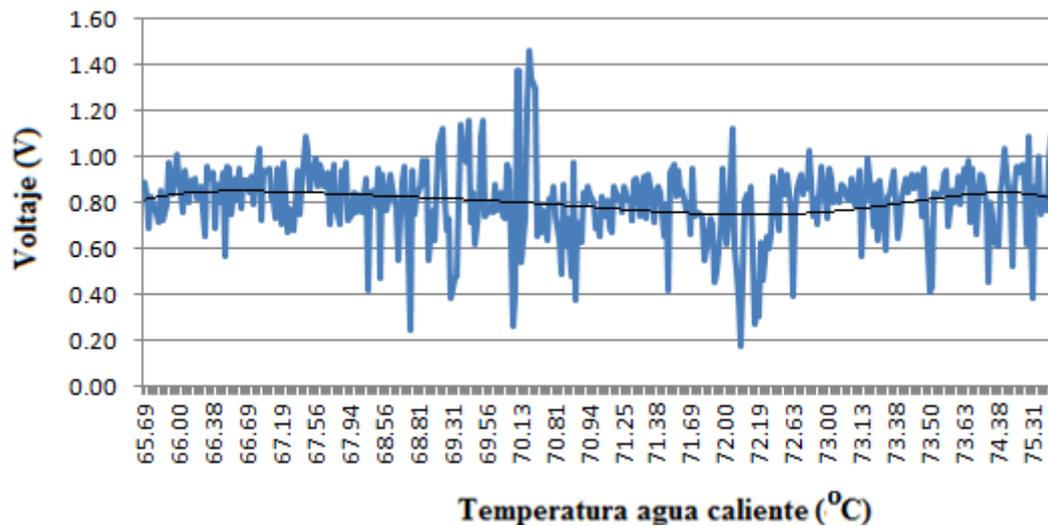


Figura 4.10 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 5 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.10 se puede notar que el voltaje tiene una tendencia a permanecer constante; con la temperatura descrita en la Figura 4.9 se obtienen voltajes comprendidos entre los 0.8 a 0.95 voltios.

En las Figura 4.11 y 4.12 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 6°C

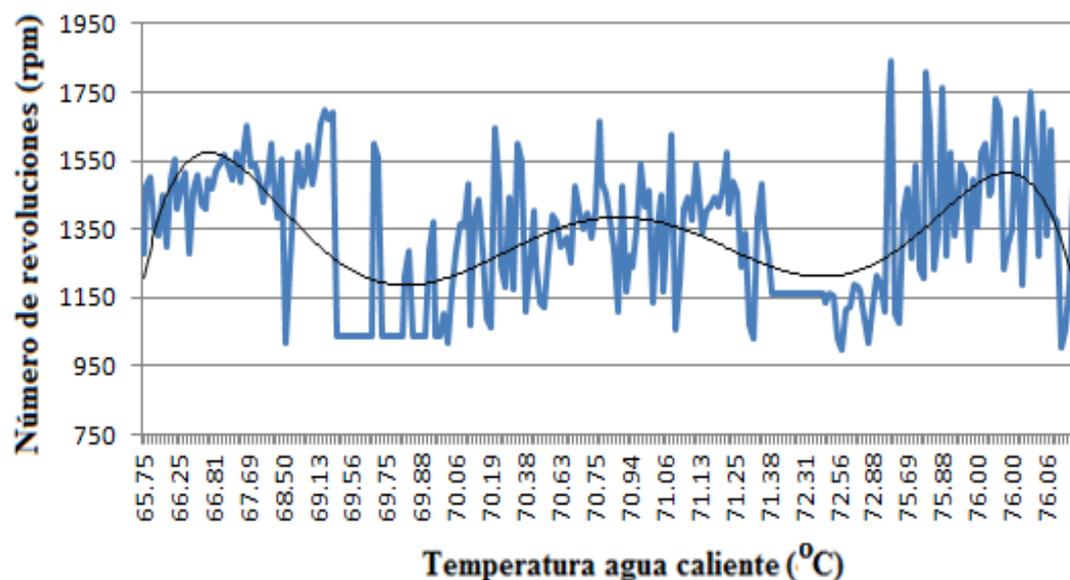


Figura 4.11 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 6 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.11 se puede notar la tendencia a decrecer levemente el número de revoluciones a medida que se aumenta la temperatura; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 68°C a los 72°C.

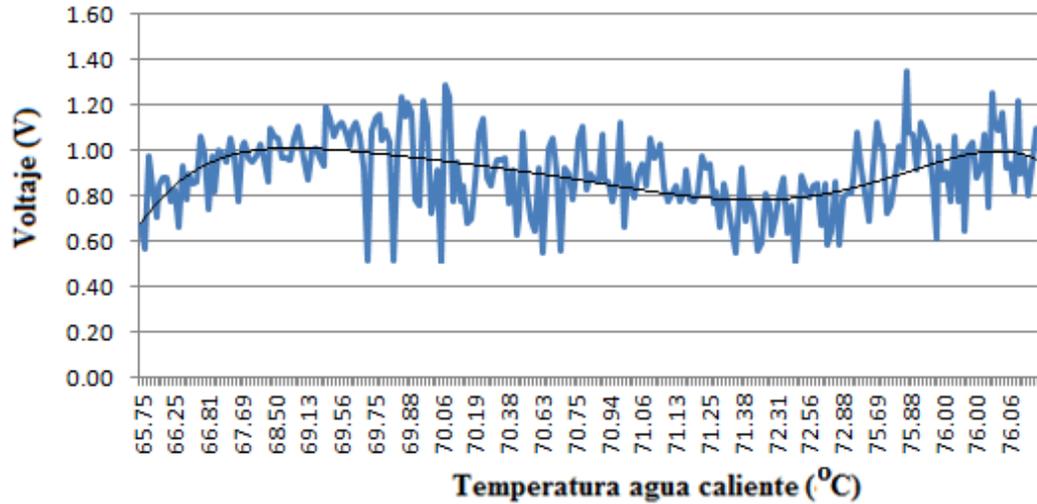


Figura 4.12 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 6 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.12 se puede notar la tendencia a decrecer levemente el voltaje a medida que aumenta la temperatura; con la temperatura descrita en la Figura 4.11 se obtienen voltajes comprendidos entre los 0.8 a 0.95 voltios.

En las Figura 4.13 y 4.14 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 7°C.

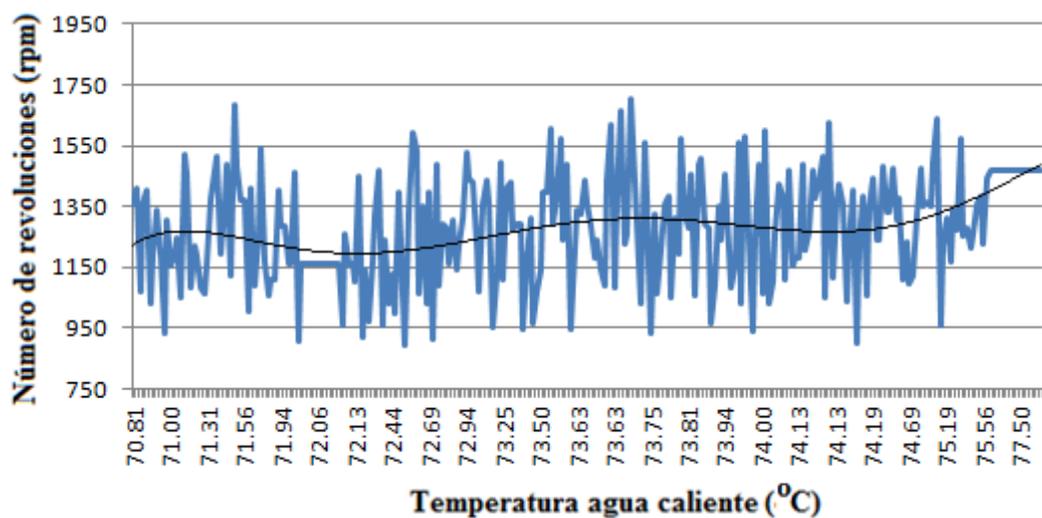


Figura 4.13 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 7 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.13 se puede notar el incremento del número de revoluciones a medida que se aumenta la temperatura de agua caliente; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 68°C a los 75°C.

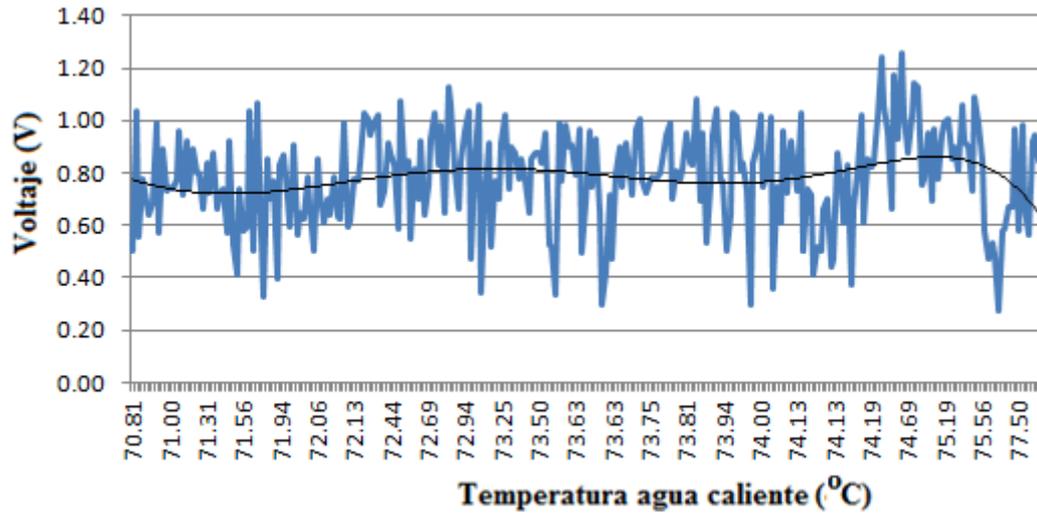


Figura 4.14 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 7 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.14 se puede observar la tendencia del voltaje a decrecer a medida que aumenta la temperatura de agua caliente; con la temperatura descrita en la Figura 4.13 se obtienen voltajes comprendidos entre los 0.75 a 0.9 voltios.

En las Figura 4.15 y 4.16 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 8°C.

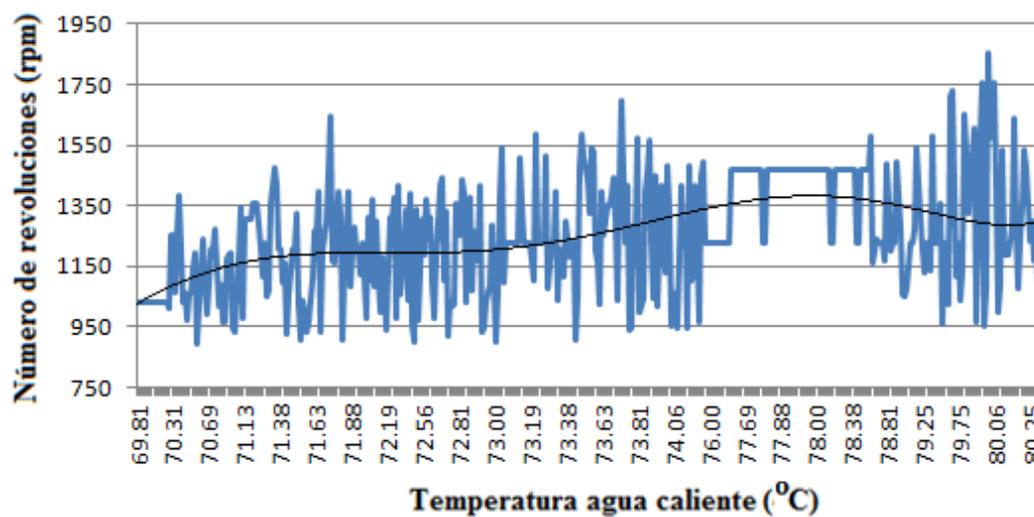


Figura 4.15 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 8 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.15 se muestra la tendencia a aumentar el número de revoluciones en función del crecimiento de temperatura; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 70°C a los 76°C.

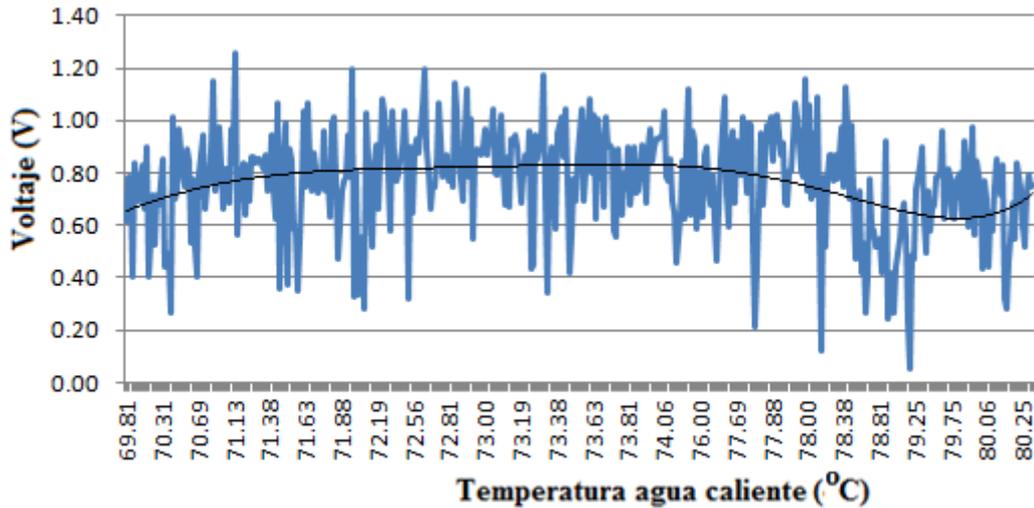


Figura 4.16 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 8 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.16 se puede observar el decrecimiento del voltaje en función de la temperatura; con la temperatura descrita en la Figura 4.15 se obtienen voltajes comprendidos entre los 0.75 a 0.85 voltios.

En las Figura 4.17 y 4.18 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 9°C.

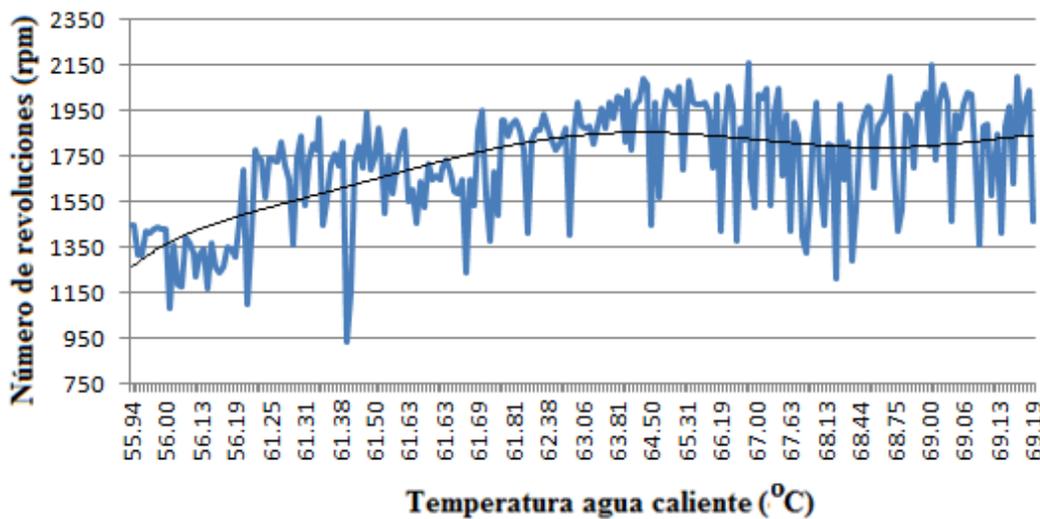


Figura 4.17 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 9 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.17 se puede observar la tendencia del número de revoluciones hacia el crecimiento; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 64°C a los 70°C.

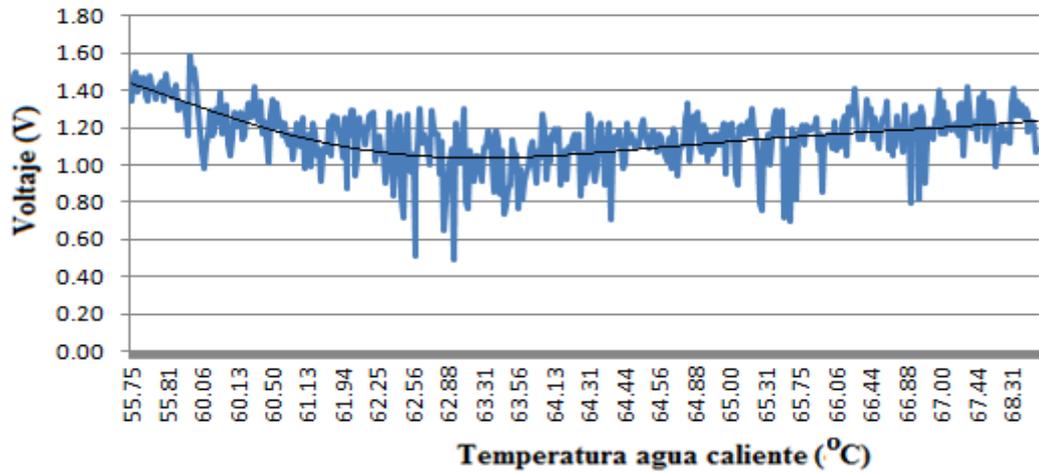


Figura 4.18 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 9 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.18 se puede notar la tendencia al decrecimiento del voltaje a medida que se incrementa la temperatura de agua caliente; con la temperatura descrita en la Figura 4.17 se obtienen voltajes comprendidos entre 1 a 1.2 voltios.

En las Figura 4.19 y 4.20 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 10°C.

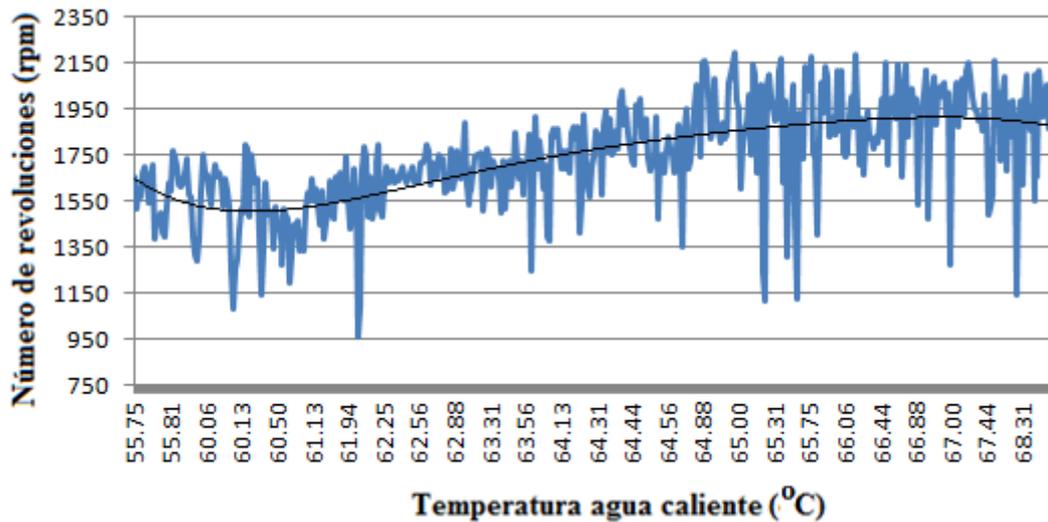


Figura 4.19 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 10 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.19 se aprecia el incremento del número de revoluciones en función del incremento de la temperatura de agua caliente; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 65°C a los 69°C.

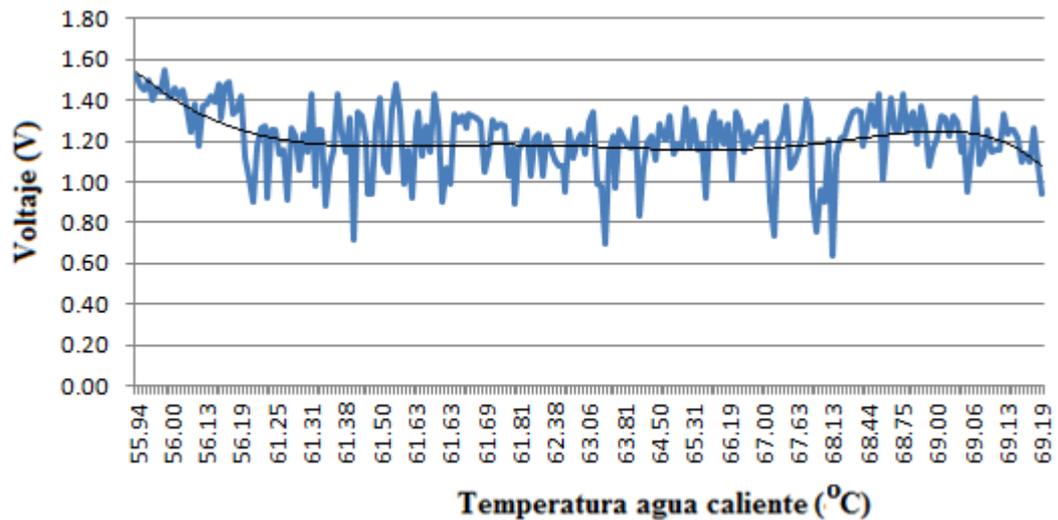


Figura 4.20 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 10 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.20 se muestra el decremento del voltaje cuando se incrementa la temperatura de agua caliente; con la temperatura descrita en la Figura 4.19 se obtienen voltajes comprendidos entre 1.1 a 1.2 voltios.

En las Figura 4.21 y 4.22 se muestran los valores del número de revoluciones y voltaje generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 11°C.

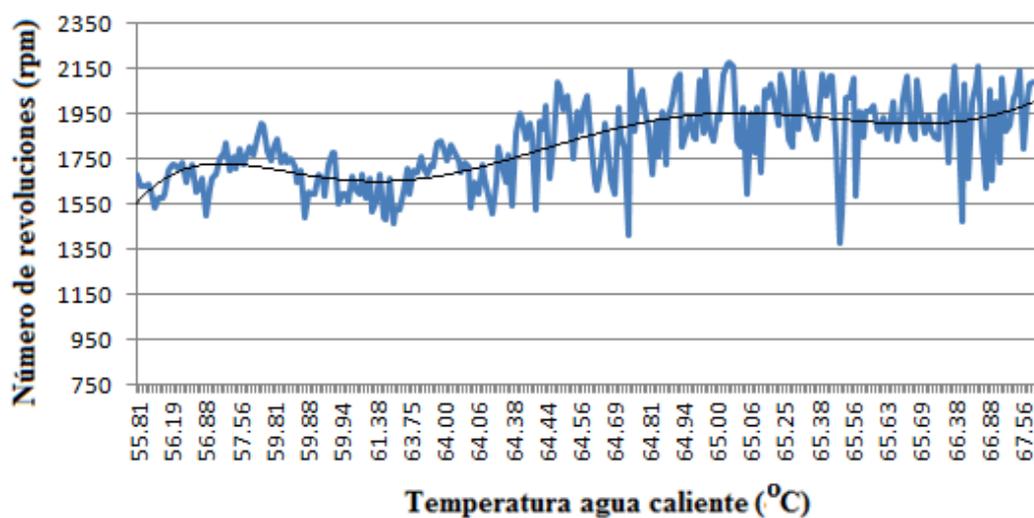


Figura 4.21 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 11 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.21 se puede observar el incremento del número de revoluciones a medida que se incrementa la temperatura de agua caliente; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 55°C a los 66°C.

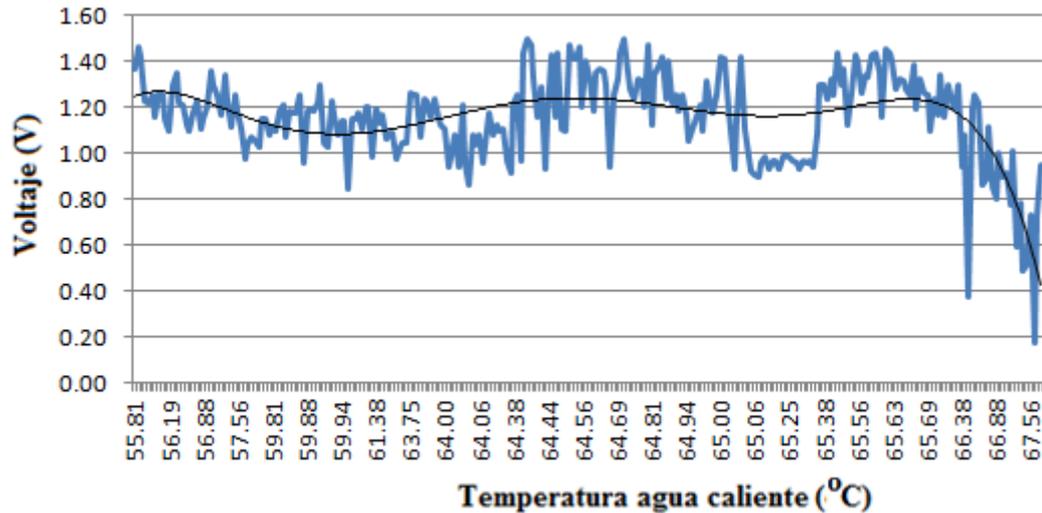


Figura 4.22 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 11 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.22 se puede observar como decrece el voltaje a medida que se incrementa la temperatura de agua caliente; con la temperatura descrita en la Figura 4.21 se obtienen voltajes comprendidos entre 1.1 a 1.2 voltios.

En las Figura 4.23 y 4.24 se muestran los valores del número de revoluciones y voltajes generado manteniendo la temperatura de agua fría constante a 12°C.

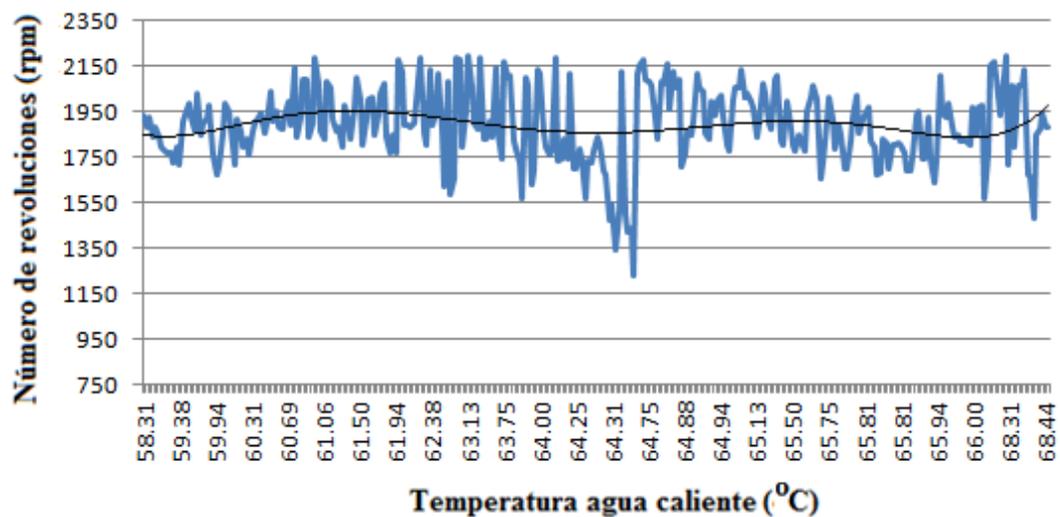


Figura 4.23 Número de revoluciones Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 12 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.23 se puede observar un ligero aumento del número de revoluciones al incrementar la temperatura de agua caliente; el rango de trabajo se encuentra comprendido entre los 58°C a los 68°C.

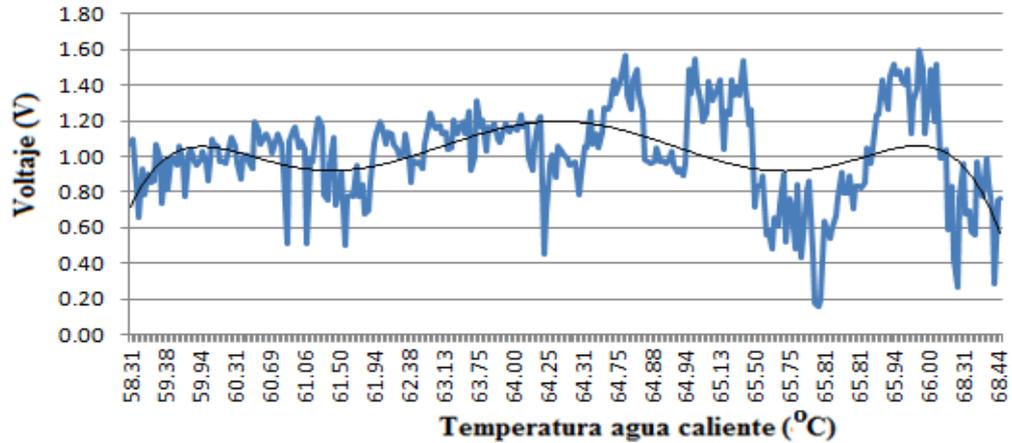


Figura 4.24 Voltaje Vs Temperatura agua caliente con temperatura de agua fría en 12 °C

Fuente: Autor

En la Figura 4.24 se puede observar el decrecimiento del voltaje a medida que se aumenta la temperatura de agua caliente; con la temperatura descrita en la Figura 4.21 se obtienen voltajes comprendidos entre 0.6 a 1.2 voltios.

Tomando como base lo descrito en la Figura 2.11, y, tratando de mantener el resorte de flexinol dentro de la zona A-B (60 a 80°C agua caliente) en la Figura 4.25 se muestra los resultados obtenidos.

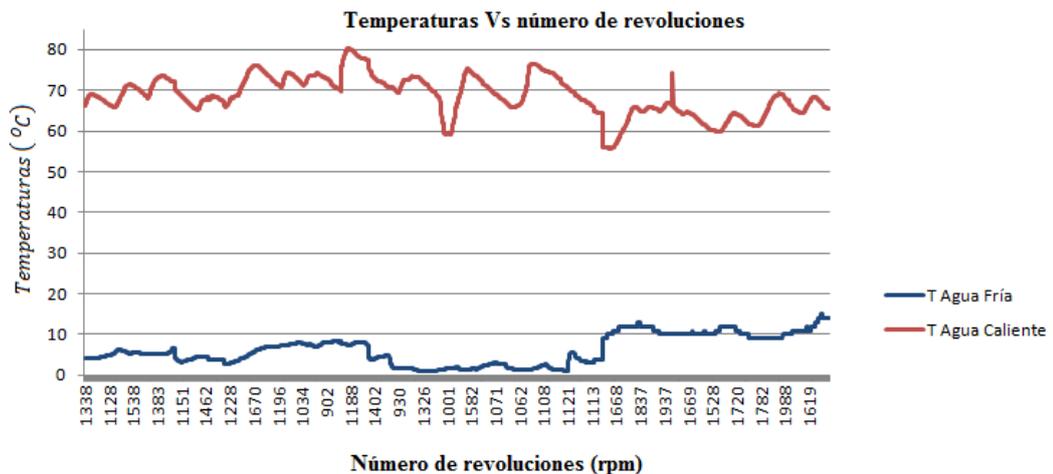


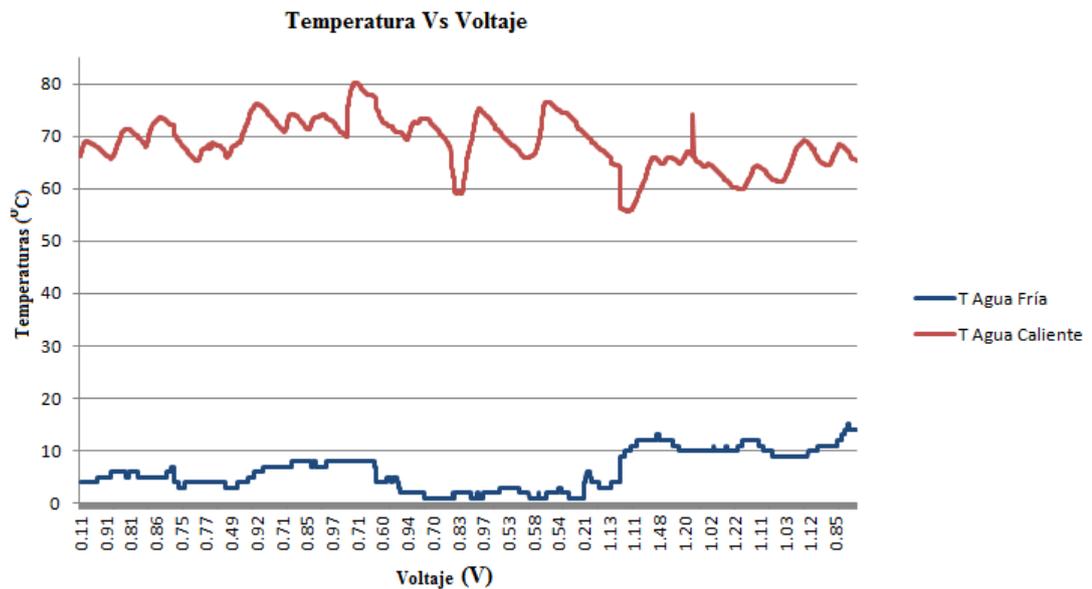
Figura 4.25 Diagrama de temperaturas Vs número de revoluciones

Fuente: Autor

De la Figura 4.25, se puede concluir que el mínimo cambio de temperatura del resorte se traduce en distintos comportamientos en cuanto al número de revoluciones.

La zona de interés es la representada cuando se trata de mantener la temperatura de flujo caliente en los 70<sup>0</sup>C y el flujo de agua fría en los 10<sup>0</sup>C, debido a que en ella se produce un número de revoluciones alto, los cuales podrían ser aprovechados para inducir al prototipo generar energía.

En la Figura 4.26 se muestra la relación existente entre las temperaturas y el voltaje generado.



**Figura 4.26 Temperaturas vs voltaje generado**

**Fuente: Autor**

De la Figura 4.2 se puede concluir que el voltaje generado guarda relación con la Figura 4.1 en cuanto al número de revoluciones; es decir, el voltaje generado que puede ser aprovechado se encuentra en el rango de los 10<sup>0</sup>C de temperatura en el afluente de agua fría y en los 70<sup>0</sup>C en el afluente de agua caliente.

En la Tabla 4.1 se muestra la tabulación establecida en rangos de cinco grados de temperatura obtenidos.

**Tabla 4.1 Número de revoluciones en función de temperaturas promedio**

n	Tc	Tf	V	N	Tc	Tf	V
973	63.36	1	0.795	1090	70.43	8	0.699
1175	68.69	1	0.680	1222	72.90	8	0.812
1289	73.05	1	0.634	1356	78.83	8	0.712
1099	60.33	2	0.808	1572	60.01	9	1.235
1166	68.02	2	0.818	1846	64.96	9	1.158
1220	73.78	2	0.666	1803	68.83	9	1.213
1144	68.10	3	0.786	1528	58.51	10	1.286
1116	74.77	3	0.563	1770	64.30	10	1.101
1219	67.43	4	0.767	1893	67.89	10	1.225
1234	72.27	4	0.627	1688	58.14	11	1.173
1261	67.75	5	0.822	1846	64.63	11	1.193
1279	72.51	5	0.781	1941	66.87	11	0.900
1351	68.29	6	0.966	1894	62.36	12	1.033
1340	72.63	6	0.868	1883	66.18	12	0.968
1269	73.19	7	0.778	1806	66.64	13	0.865
1469	77.45	7	0.583	1285	66.35	14	0.837
				933	66.88	15	0.690

\* n=número de revoluciones (rpm); Tc=temperatura de agua caliente en grados centígrados; Tf=temperatura de agua fría en grados centígrados; V=voltaje en Amperios

Fuente: Autor

De la Tabla 4.1 se puede concluir que si bien es cierto el resorte de flexinol podría trabajar a cualquier rango de temperaturas, también es cierto que el número de revoluciones y el voltaje decrecen a medida que la temperatura de agua fría aumenta.

También se debe mencionar que al no contar con instrumentos más precisos, los valores de temperatura y número de revoluciones tendrán cambios sustanciales.

## 4.2 Conclusiones del capítulo

La temperatura para el flujo caliente de trabajo en el flexinol del análisis de la Figura 4.25 se encuentra en el rango de 60<sup>0</sup>C hasta 75<sup>0</sup>C, con temperaturas mayores el prototipo se atasca en su funcionamiento normal.

La temperatura para el flujo frío de trabajo en el flexinol del análisis de la Figura 4.25 es de 1<sup>0</sup>C hasta 14<sup>0</sup>C, cuando la temperatura es menor a los 4<sup>0</sup>C, el prototipo se mueve pero muy lentamente.

Los datos de temperatura, en el tanque de agua fría, no se pueden tomar con decimales, es una de las consideraciones que debe tenerse en cuenta al momento de diseñar el prototipo de máquina térmica a escala de laboratorio.

Para poder determinar el potencial energético es necesario medir el amperaje generado por el prototipo, este es otro aspecto a ser tomado en cuenta en el diseño de la máquina térmica.

# CAPÍTULO V

## LA PROPUESTA

En este capítulo se selecciona y se diseña los elementos complementarios necesarios para el buen funcionamiento del prototipo así como la adquisición de datos.

### **5.1 Título de la propuesta.**

Diseño de un prototipo de máquina térmica a escala de laboratorio que permita determinar el potencial energético del resorte de flexinol, así como su factibilidad de ser aplicado a zonas geotérmicas del país.

### **5.2 Justificación.**

El Ecuador es un país con diversidad de zonas favorables para la aplicación de generación de energía limpia entre ellas se puede destacar las hidroeléctricas, geotérmicas, solares y eólicas. La importancia de tratar de implementar un prototipo de energía limpia es que en el País, se cuenta con termas y adyacentes a ellas afluentes de ríos que proveen agua fría, los dos elementos primordiales, a parte del material, en los cuales se basa el prototipo.

Las ventajas de este sistema son múltiples; entre ellas, hay menos probabilidades de agotar el yacimiento térmico, tampoco se agota el agua del yacimiento, puesto que la cantidad total se mantiene, las posibles sales o emisiones de gases disueltos en el agua no se manifiestan al circular en circuito cerrado por las conducciones, lo que evita contaminaciones, es una fuente que evitaría la dependencia energética del exterior, los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo, carbón, etc.

Los inconvenientes de este sistema, en ciertos casos la emisión de ácido sulfhídrico que se detecta por su mal olor como a huevo podrido, pero que en grandes cantidades no se percibe y es letal, en ciertos casos, emisión de CO<sub>2</sub>, con aumento de efecto invernadero; es inferior al que se emitiría para obtener la misma energía por combustión, contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc., no se puede transportar (como energía primaria), no está disponible más que en determinados lugares.

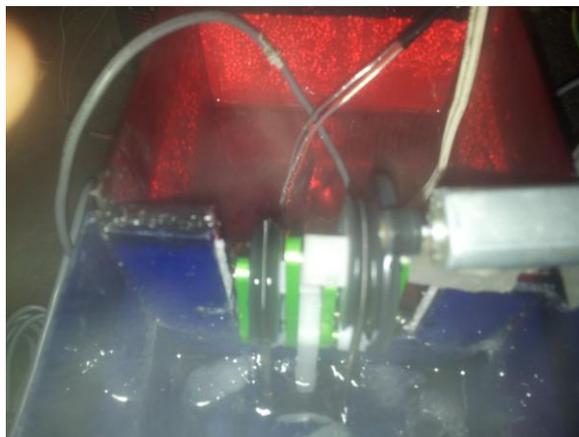
### **5.3 Objetivo**

Determinar el potencial de generación eléctrica en zonas donde existan fuentes termales geotérmicas.

### **5.4 Estructura de la propuesta.**

El prototipo consta de tres partes; la primera el sistema mecánico, la segunda el sistema electrónico y la tercera el sistema de adquisición de datos.

La primera parte o sistema está compuesta del motor ecológico descrito en el capítulo III, mostrado en la Figura 5.1 Prototipo sistema mecánico (Anexo 1), acoplado a él un motor de la serie AFF-050SK (Anexo 3) al cual se lo hace trabajar como un generador; puesto que, un motor de CC es en sí mismo un generador de electricidad. Todo lo que se tiene que hacer es girar el eje con una fuente externa de energía, en este caso el torque generado por la contracción y estiramiento del flexinol.



**Figura 5.1 Prototipo sistema mecánico**

**Fuente: autor**

La segunda o sistema electrónico que permite la toma de datos de temperatura y voltaje. Para lo cual se utilizó la tarjeta mbed NXP LPC1768 prototyping board; la mbed ha sido diseñada para obtener una conectividad inmediata. El microcontrolador LPC1768, ubicado en un paquete LQFP, está montado en el tablero, que utiliza un DIP de 40 pines con un paso de 0,1 pulgadas. Este conveniente factor de forma funciona perfectamente con placas universales sin soldadura, placas de pistas, y PCBs.

El procesador ARM Cortex-M3, mostrado en la Figura 5.2, es un procesador de 32 bits para aplicaciones en tiempo real altamente deterministas, desarrollado específicamente para permitir desarrollar plataformas de bajo costo de alto rendimiento para una amplia gama de dispositivos, incluyendo los microcontroladores, sistemas de automóvil, sistemas de control industrial, redes inalámbricas y sensores. El procesador ofrece un excelente rendimiento computacional y una excepcional respuesta del sistema para eventos cumpliendo con los retos de las limitaciones de baja potencia dinámica y estática. El procesador es altamente configurable que permite una amplia gama de implementaciones que requieren protección de la memoria y una potente tecnología de rastreo para dispositivos sensibles que requieren área mínima.

El LPC176x pertenece a la familia de microcontroladores NXP es una serie de dispositivos de baja potencia Cortex-M3 que operan de hasta 100 MHz. disponen de periféricos de apoyo, incluyendo Ethernet, USB 2.0 Host / OTG, y CAN 2.0B. Hay 512 KB de memoria Flash y 64 KB de SRAM.



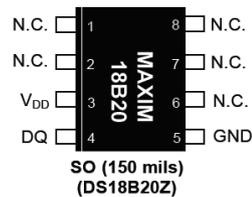
**Figura 5.2 Tarjeta mbed NXP LPC1768 prototyping board**

**Fuente: ARM mbed Developer Site**

La arquitectura utiliza un bus AHB multi-capa que permite periféricos de alto ancho de banda, tales como Ethernet y USB para funcionar al mismo tiempo, sin afectar el rendimiento.

El termómetro digital DS18B20, mostrado en la Figura 5.3, ofrece una resolución programable de 9 a 12 bits para indicar la temperatura en grados Celsius o Fahrenheit y tiene una función de alarma no volátil programable por el usuario con puntos de activación superior e inferior.

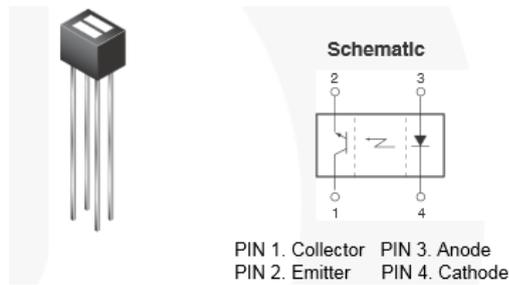
El DS18B20 se comunica a través de un bus 1-Wire que, por definición, requiere sólo una línea de datos (y tierra) para la comunicación con una central del microprocesador. Tiene una temperatura de funcionamiento con un rango de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$  y tiene una precisión de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  en el rango de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ . Además, el DS18B20 puede derivar energía directamente desde la línea de datos ("poder parásito"), eliminando la necesidad de una fuente de alimentación externa.



**Figura 5.3** Termómetro digital DS18B20Z

**Fuente:** Maxim Integrated Data sheet

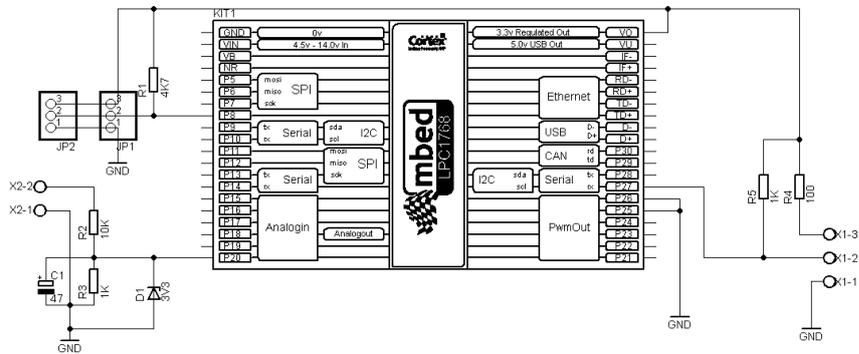
El sensor reflectante QRD1114, mostrado en la Figura 5.4, consiste en un diodo emisor de infrarrojos y un fototransistor de silicio NPN istor montada lado a lado en una carcasa de plástico negro. La radiación en el eje del emisor y la respuesta en el eje del detector son a la vez perpendiculares a la cara de la QRD1114. El fototransistor responde a la radiación emitida por el diodo sólo cuando un objeto o superficie reflectante está en el campo de visión del detector.



**Figura 5.4 Sensor reflectante QRD1114**

**Fuente: QT Optoelectronics Data sheet**

En la Figura 5.5 se muestra el diagrama esquemático de la tarjeta utilizada; acoplada a ella los sensores. En el Anexo 7 se muestra el código fuente.



**Figura 5.5 Diagrama esquemático de tarjeta para adquisición de datos**

**Fuente: Autor**

En los conectores JP1 y JP2 se insertan las sondas de temperatura DS18B20 utilizados para adquirir la temperatura del agua fría y caliente respectivamente, La resistencia R1 es una resistencia de pull up de acuerdo a lo especificado en la hoja de datos del sensor.

Hacia la bornera X1 se conecta el sensor reflectivo QRD1114 utilizado para contar las rpm del generador de corriente continua. La resistencia R4 limita la corriente aplicada al LED infrarrojo, al terminal X1-3 se conecta el ánodo del LED, R5 es una resistencia del tipo pull up la misma que se conecta al colector del fototransistor para limitar la corriente del mismo, el terminal X1-2 es la entrada de pulsos y al terminal X1-1 se conecta el cátodo del LED y el Emisor del fototransistor.

En la bornera X2 se conecta los terminales de salida del generador, R2 y R3 que forman un divisor de tensión para limitar el voltaje aplicado hacia la entrada

analógica del módulo mbed con un factor de 0.1, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_{entrada} = V_{generador} \times \frac{R3}{R4}$$

Donde:

V<sub>entrada</sub>= voltaje aplicado al terminal analógico del módulo

V<sub>generador</sub>= Voltaje producido por el generador de cc

R3= 1 Kilo ohmios

R4= 10 Kilo ohmios

D1 se ha colocado para asegurar que el voltaje aplicado a la entrada del módulo mbed jamás supere los 3.3V que es el voltaje máximo permisible.

El capacitor electrolítico C1 actúa como Filtro Pasabajos para reducir el ruido eléctrico y de ésta manera reducir las oscilaciones (variaciones) del valor resultado de la conversión analógica a digital realizada por el módulo mbed. El diseño final de la tarjeta de adquisición se muestra en la Figura 5.6.

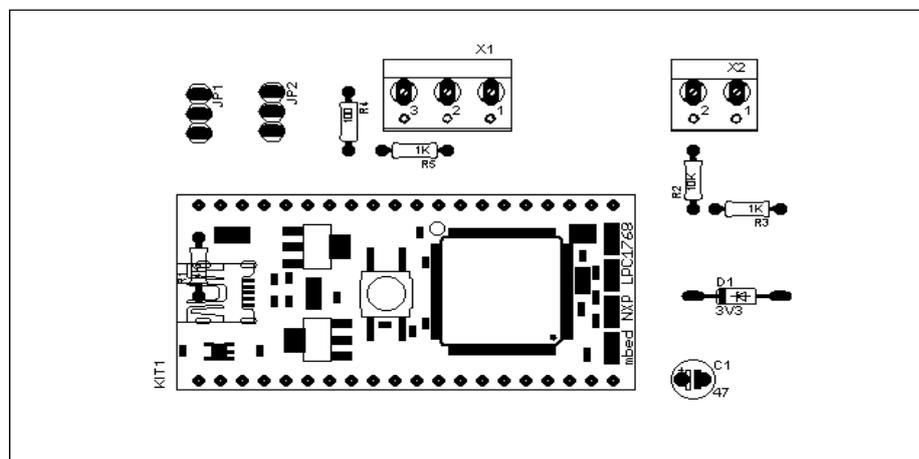


Figura 5.6 Diagrama pictórico (Dimensiones: 59.13x107.08mm)

Fuente Autor

En la Tabla 5.1 se muestra los componentes que integran la tarjeta de adquisición de datos con la cual se procede a determinar temperatura y el número de revoluciones

**Tabla 5.1 Lista de materiales**

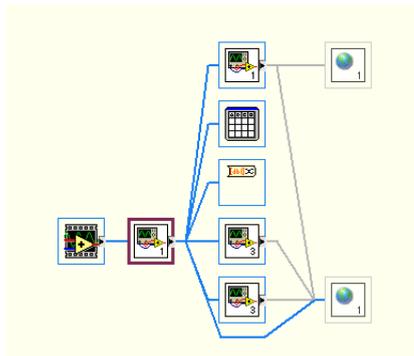
Cantidad	Parte	Valor	Descripción
1	C1	47uF	Capacitor Polarizado
1	D1	3V3	Diodo Zener
2	JP1, JP2		1X03 Pin Header
1	KIT1		MBED_NXP_LPC1768
1	R1	4K7	Resistor 1/4W
1	R2	10K	Resistor 1/4W
2	R3, R5	1K	Resistor 1/4W
1	R4	100K	Resistor 1/4W
1	R5	1K	Resistor 1/4W
1	X1		Bornera 3 pines
1	X2		Bornera 3 pines
2	DS18B20		Sonda Sensor de Temperatura
1	QRD1114		Sensor Reflectivo

**Fuente: Autor**

La parte tres o sistema de adquisición de datos se seleccionó el software labView, dado su versatilidad para representar instrumentos virtuales, su programación dirigida a objeto y la comunicación a través del módulo VISA para visualizar los datos adquiridos por la tarjeta electrónica

La adquisición de datos, se lo realiza adquiriendo un promedio de cada cinco datos de temperatura en 750 milisegundos; se analiza los datos obtenidos y se discrimina aquellos datos que por una u otra razón (velocidad de procesamiento y comunicación entre el pic y la pc) quedan fuera de los rangos permisibles del promedio general

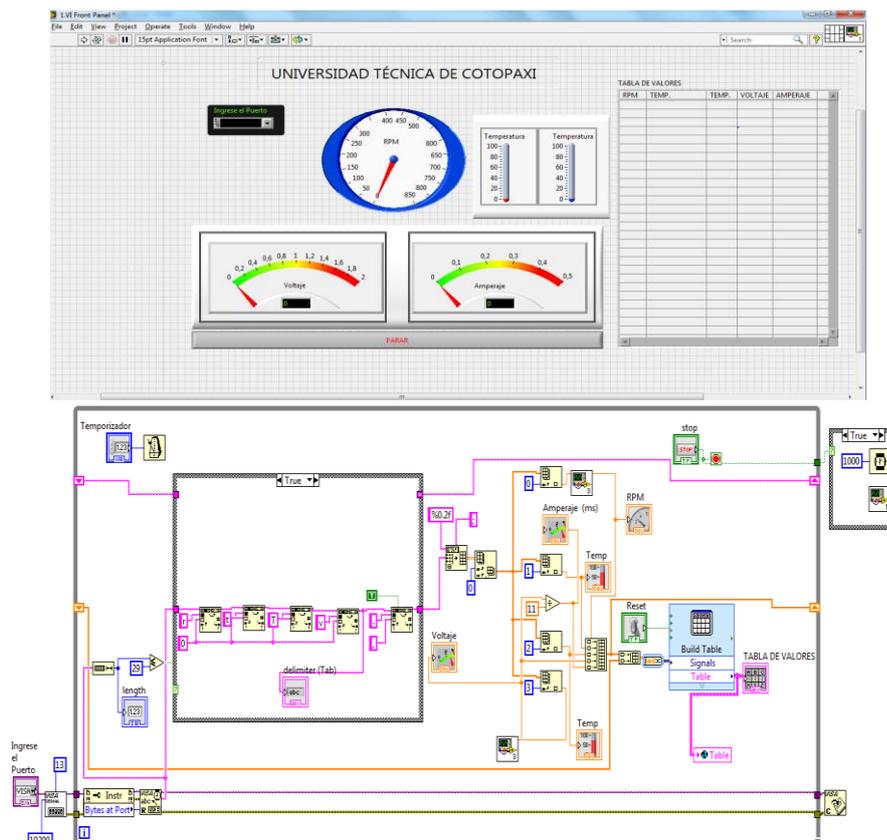
En la Figura 5.7 se muestra la jerarquía del programa



**Figura 5.7 Jerarquía del programa de adquisición de datos**

Fuente: Autor

A continuación en la Figura 5.8 se muestra el panel frontal y el diagrama de bloques ejecutado en el software para determinar los parámetros indicados. En la Figura 5.9 se muestra los SubVI's utilizados el primero permite realizar los promedios de cada 5 datos tomados y el segundo la transición a un software de manipulación rápida de los datos.



**Figura 5.8 Panel frontal y diagrama de bloques**

Fuente: Autor

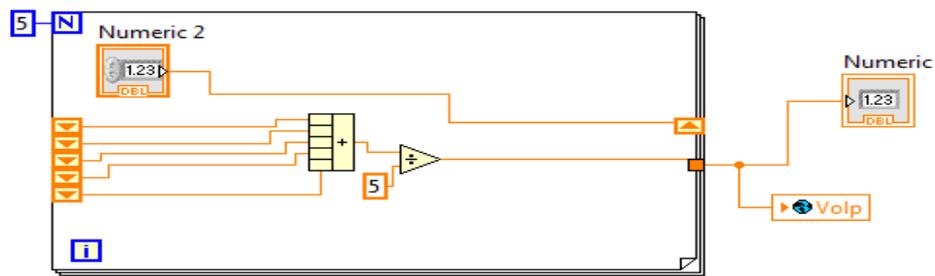


Figura 5.9 SubVi. Diagramas de bloque

Fuente: Autor

### 5.5 Resultados obtenidos del prototipo a escala de laboratorio.

Los datos obtenidos de número de revoluciones, temperaturas de trabajo, voltaje y amperaje promedio se muestran en la Tabla 5.2, y los datos que permiten obtener la Figura 5.10, Figura 5.11 y Figura 5.12 en el anexo 8

Tabla 5.2 Temperaturas de trabajo promedio

Número de revoluciones por minuto (rpm)	Agua Caliente	Agua Fría	Voltaje Promedio (V)	Amperaje Promedio (A)	Potencia Promedio Vatios(W)
	Temperatura promedio - Rango de Temperaturas (°C)	Temperatura promedio - Rango de Temperaturas (°C)			
1504,00	67,34	7,49	0,87	0,08	0.0696
	65-69	7-7,99			
1437,40	66,93	8,73	0,85	0,08	0.068
	65-70	8-8,99			
1366,63	68,21	9,41	0,79	0,07	0.0553
	64-75	8-9,99			
1327,91	70,60	10,42	0,78	0,07	0.0546
	66-72	10-10,99			
1302,41	69,40	11,30	0,66	0,06	0.0396
	68-71	11-11,99			

Fuente: Autor

De la Tabla 5.2 se puede concluir que el número de revoluciones decrece en función de la temperatura de agua fría, mientras mayor es esta temperatura (agua

fría) y en lo posible tratando de mantener el valor de temperatura del agua caliente estable el voltaje y amperaje también decrecen.

El parámetro importante a tener en cuenta es la temperatura de agua fría, pues de ella depende en gran medida el funcionamiento del máquina, esto se debe a la relación de estiramiento SR en fase de relajación del material, que según lo expresado en el capítulo II, se indica que para cualquier tipo de resorte siempre es mayor que la relación de estiramiento en caliente y por lo tanto toma mayor tiempo en el cambio de fase.

En las siguientes figuras se muestra el comportamiento del resorte de flexinol a diferentes temperaturas.

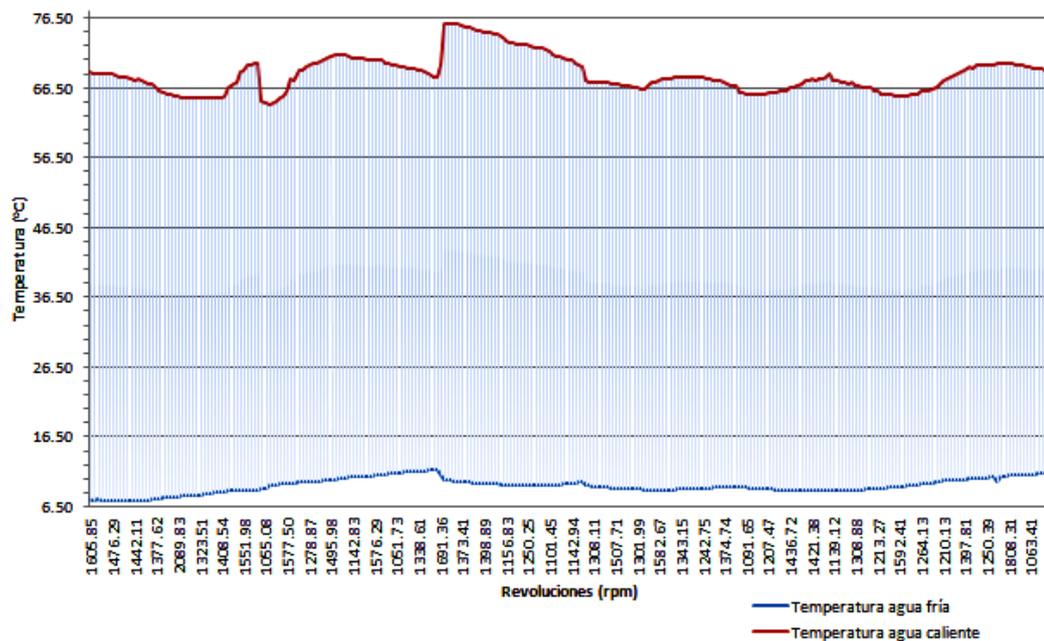


Figura 5.10 Temperaturas vs Número de revoluciones

Fuente: Autor

De la Figura 5.10 se puede observar el comportamiento poco lineal del material, la menor variación de temperatura produce un cambio sustancial en el número de revoluciones que genera el prototipo. La zona preferente de trabajo se establece entre los 6 a 9 °C para la temperatura de agua fría y los 65 a 70 °C en agua caliente ya que en dicha zona se genera el mayor número de revoluciones.

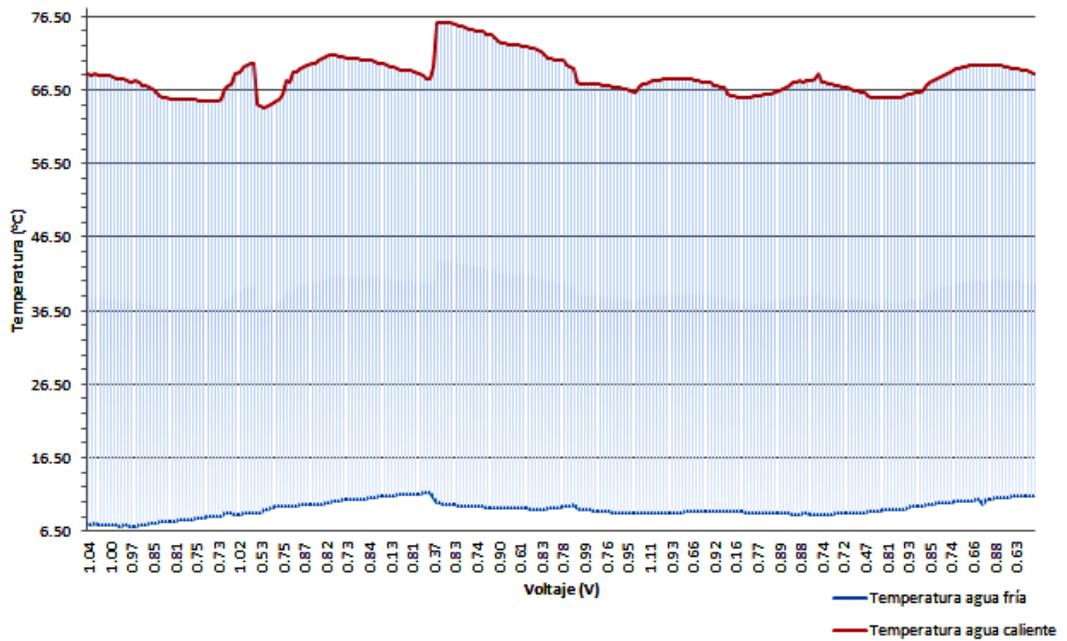


Figura 5.11 Temperaturas vs voltaje

Fuente: Autor

En la Figura 5.11 se puede corroborar lo indicado en la Figura 5.10, la zona preferente de trabajo se establece entre los 6 a 9 °C para la temperatura de agua fría y los 65 a 70 °C en agua caliente ya que en dicha zona se genera un mayor voltaje.

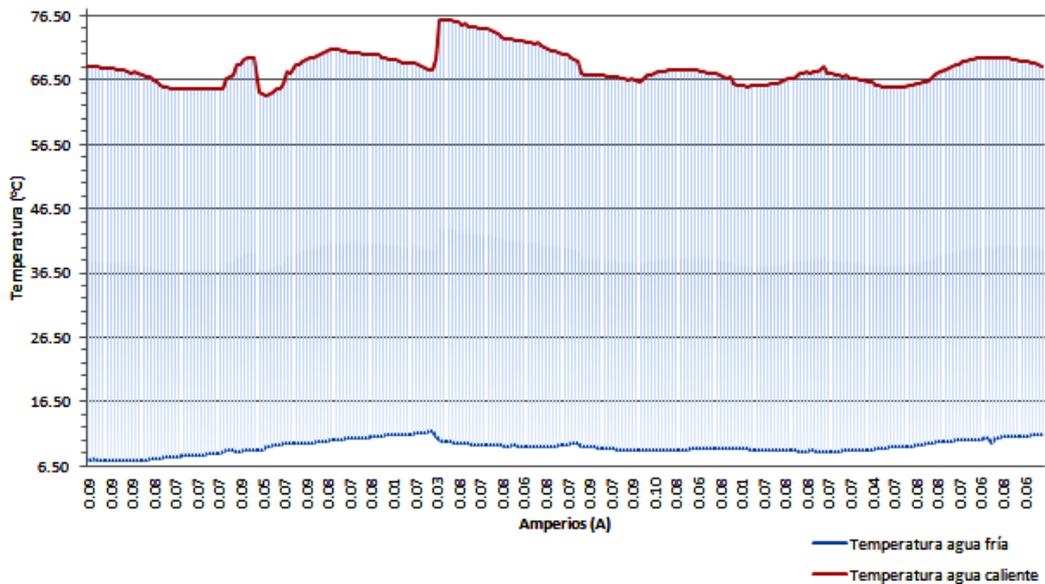


Figura 5.12 Temperaturas vs amperaje

Fuente: Autor

De la figura 5.12 se puede corroborar lo indicado en la Figura 5.10, la zona preferente de trabajo se establece entre los 6 a 9 °C para la temperatura de agua fría y los 65 a 70 °C en agua caliente ya que en dicha zona se genera un mayor amperaje.

### **5.5.1 Factibilidad de aplicación en zonas geotérmicas del Ecuador.**

La investigación está estructurada en dos alternativas: En la primera alternativa se evalúa la temperatura de las fuentes de agua termales y la temperatura de los afluentes de agua fría en el catón Baños de la provincia de Tungurahua y la segunda en el cantón Papallacta en la Provincia de Pichincha.

#### **Alternativa No 1a.- Terma El Salado.**

- Ubicación

El salado está ubicado a 2 Km. de Baños, por la avenida de El Salado a 1 Km. de la vía que está cerca al centro de Ambato. (Viajando Ecuador)



**Figura 5.13 Termas el Salado**

Fuente: [www.viajando.com](http://www.viajando.com)

- Clima

Su temperatura ambiente es de 19.5° C.

- Composición del agua de la terma

Cloruro de sodio, anhídrido carbónico libre, sílice en forma de óxido de silicio, potasio en cloruro y sulfatos, sulfato de magnesio, bicarbonato de magnesio, bicarbonato de calcio y bicarbonato de hierro; es una agua de fuerte mineralización, perteneciente al grupo de sulfatadas magnesianas y salino termales. (Viajando Ecuador)



Figura 5.14 Adquisición de temperaturas terma el Salado

Fuente: Autor

Se procedió a tomar datos en la terma cuyos datos se muestran en la Figura 5.15.

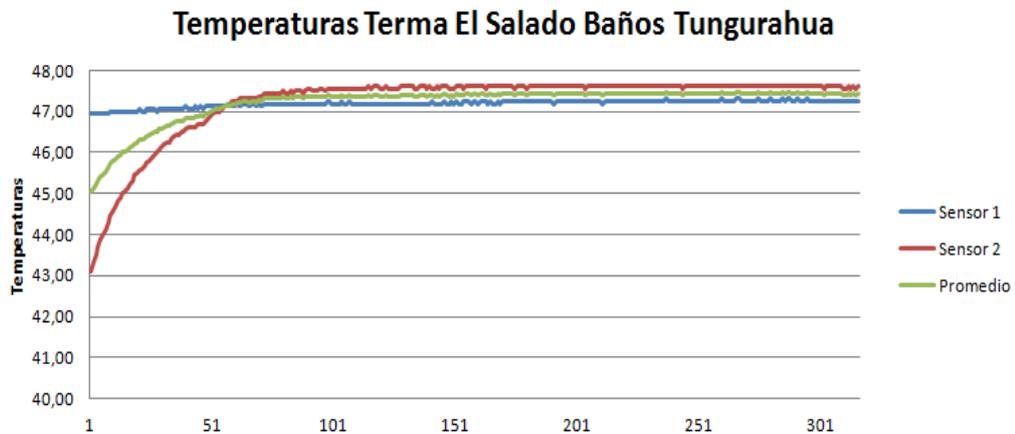


Figura 5.15 Temperaturas promedio en terma El Salado

Fuente Autor

#### Alternativa No 1b.- Terma de la Virgen.

- Ubicación

Se encuentran ubicadas en la intersección de las calles Luís A. Martínez y Montalvo, en el centro de la ciudad, junto a la Cascada Cabellera de la Virgen. (Viajando Ecuador)

- Clima

Su temperatura ambiente es de 18.5

- Composición del agua de la terma

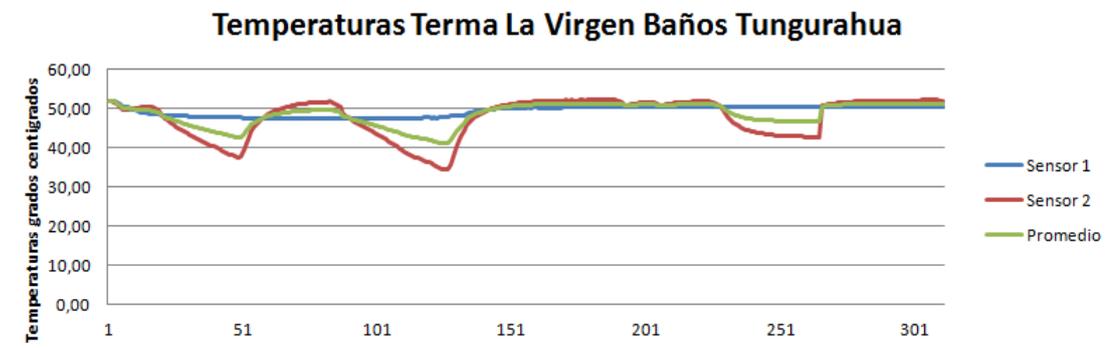
Sulfato magnesiana de color amarillento, es inodoro y posee sabor salino; se compone de calcio, sodio, magnesio, cloro, ácido silícico, potasio, azufre y anhídrido carbónico. (Viajando Ecuador)



**Figura 5.16 Terma de la Virgen**

Fuente: Autor

Se procedió a tomar datos en la terma cuyos datos se muestran en la Figura 5.17.



**Figura 5.17 Temperaturas promedio en terma La Virgen**

Fuente: Autor

La temperatura de los afluentes de agua fría en ninguno de los casos resulto ser menor a los 12° C.

Se analizó un tercera alternativa en Parroquia Papallacta Provincia de Pichincha.

**Alternativa No 2.- Terma El Pantanal.**

- Ubicación

A 2 horas aproximadamente al este de la ciudad de Quito, pasando por Cumbayá, Tumbaco y Pifo siguiendo la vía Interoceánica, se llega al páramo de la Virgen, en donde comienza la Parroquia de Papallacta. (Viajando Ecuador)

- Clima

Su temperatura ambiente es 8.4 ° C Mínima, máxima 22A ° c

- Composición del agua de la terma

Son aguas sulfatadas, sódicas, cálcicas, cloruradas y ligeramente magnésicas. Inodoras, incoloras, de sabor ligeramente salobre. (Viajando Ecuador)



**Figura 5.18 Termas el Pantanal**

**Fuente: Autor**

Todas las termas son de propiedad privada, se logro medir las temperaturas en la terma El Pantanal cuyos datos se muestran en la Figura 5.19.

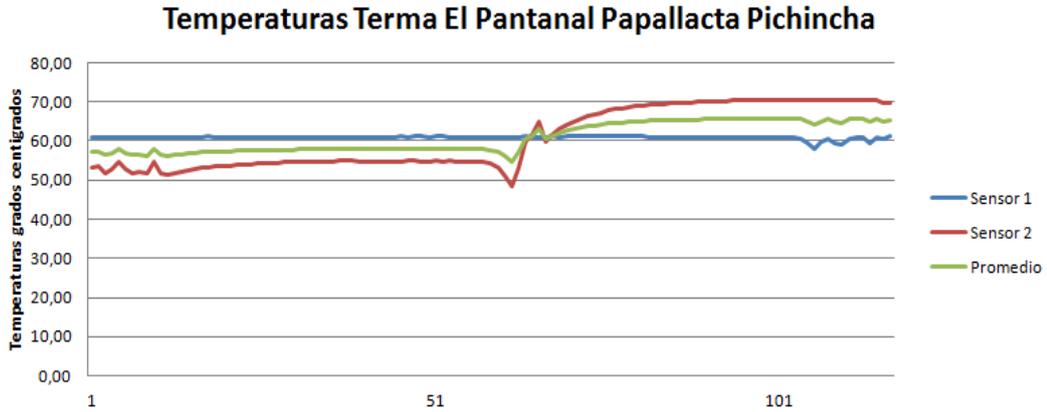


Figura 5.19 Temperaturas promedio en la Terma El Pantanal

Fuente: Autor

En el afluente de agua fría se tiene temperaturas mostradas en la Figura 5.20.

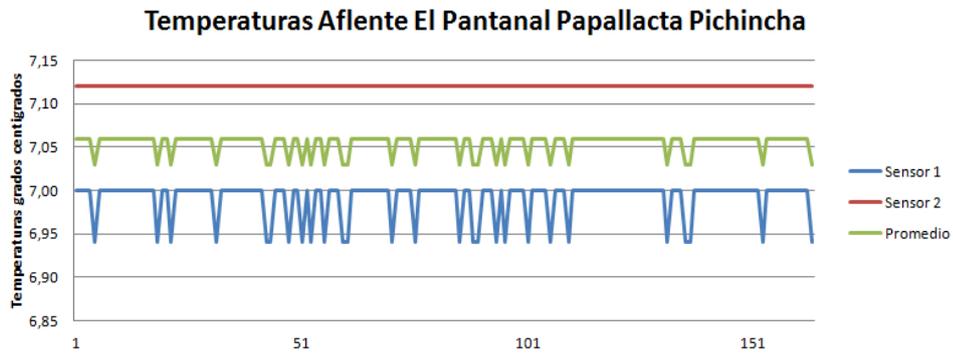


Figura 5.20 Temperatura afluente terma El Pantanal

Fuente: Autor

## 5.6 Análisis y evaluación económica

Como en la alternativa No 3, en ésta también se debe realizar un análisis financiero para determinar su factibilidad, será necesario por tanto calcular costos de implementación.

Como la potencia eléctrica en c.c. es igual al voltaje generado por el amperaje; la potencia que se suministraría por prototipo en la terma el pantanal sería de:

$$P = V_{prom} * I_{prom} = 0.82 V * 0.07A = 0.0574 \text{ watts}$$

Se puede realizar un sistema análogo a la determinación de paneles solares para determinar el número de prototipos necesarios, así por ejemplo Tabla 5.3.

**Tabla 5.3 Determinación del número de módulos**

				Número de módulos paralelo		
				Amperaje (A)		
Voltaje* Promedio (V)	Amperaje* Promedio (A)	Voltaje Requerido	Número de módulos Serie	1 (A)	2 (A)	3 (A)
0,82	0,07	5	6,10	14,3	28,6	42,9
		9	10,98	204,1	408,2	612,2
		12	14,63	2915,5	5830,9	8746,4
		24	29,27	41649,3	83298,6	124947,9

Fuente: Autor

En la Tabla 5.4, se detallan los materiales y equipos de la instalación que formarán la inversión inicial, éste presupuesto se consideró únicamente para el prototipo.

**Tabla 5.4 Costos unitarios**

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)
Motor	1	1,5
Kit Motor Ecológico	1	64,47
Manguera 10 mm de diámetro	10 m	26,95
Otros		27,876
<b>TOTAL</b>		<b>120,796</b>

Fuente: Autor

Si bien es cierto el potencial eléctrico suministrado por cada prototipo es demasiado pequeño, lo que se ha intentado con la presente investigación es desarrollar una nueva tecnología que puede ser usada como complemento a la generación eléctrica. También es cierto, que lo que se ha pretendido es dar inicio a nuevas investigaciones que permitan estudiar el comportamiento del flexinol en prototipos a mayor escala utilizando para ello cables de mayor diámetro.

El espacio que ocupa cada prototipo es de 20 x 15 x 12 cm, pero a diferencia de la celdas fotovoltaicas no se requiere que los módulos estén dispuestos sobre una superficie plana y con orientación, lo que conlleva a que los prototipos puedan ser

enlazados de manera vertical disminuyendo de esta manera el espacio en el que podrían ser dispuestos. Lo que implicaría un impacto visual en la región.

Al ser un prototipo en el cual la mayoría de sus componentes son plásticos (en el sistema mecánico), la contaminación por este tipo de desechos, si se piensa en escala mayor es grande.

El mantenimiento del prototipo no conlleva mayores dificultades, ya que las partes que necesitarían recambio son en esencia el resorte debido a que si en un momento determinado se excede de la temperatura recomendada o cumple su ciclo de vida útil este fallara o se romperá. Los pernos que unen las articulaciones que son metálicas, en las termas debido a la alta cantidad de azufre presente podrían causar en ellas corrosión.

El ruido producido por el movimiento de las poleas en el calentamiento y relajamiento del resorte en su cambio de fase es medio, pero de igual manera si se piensa en una escala mayor, este ruido podría ser demasiado alto, y habría que tomar decisiones como aislar el ruido.

## **5.7 Conclusiones del capítulo**

El acoplamiento del motor generador al KIT de poleas que contiene el alambre de flexinol se lo realiza mediante el uso de una rueda de fricción

A la tarjeta MBED\_NXP\_LPC1768 se acopla dos sondas de temperatura DS18B20 para determinar las temperaturas de trabajo, una en el reservorio de agua caliente y otra en el reservorio de agua fría, un sensor reflectivo DS18B20 que permitirá determinar el número de revoluciones generado por el motor

El programa en software LabView debe permitir la visualización de las temperaturas de trabajo en tiempo real, así como también el voltaje y amperaje generado por el motor.

Se logró mediante la selección del sistema mecánico, el diseño e implementación de la placa electrónica y la adquisición de datos a través de la utilización del software LabView, un prototipo a escala de laboratorio.

Los cambios en voltaje se debe al acople del motor; en teoría a un motor de corriente continua si se le hace trabajar como un generador el voltaje debería ser el mismo, pero, se producen pérdidas.

Cuando se relaciona las temperaturas con respecto al número de revoluciones, voltaje y amperaje de las gráficas en las Figuras 5.10, 5.11, 5.12 se concluye que la máxima velocidad en el prototipo es de 2092.06 rpm, 1,2 voltios y 0,11 amperios con temperatura de flujo caliente de 66.75<sup>0</sup>C, y temperatura de flujo frío de 8.88<sup>0</sup>C.

En este capítulo se propuso tres alternativas:

Dos en el Cantón Baños provincia de Tungurahua, el prototipo pese a que trabaja con temperaturas de agua caliente en el rango comprendido entre los 48 a 55<sup>0</sup>C no lo hará con temperaturas del afluente de agua fría cuyo promedio es de 12 a 14<sup>0</sup>C.;

Una en el Cantón Papallacta provincia de Pichincha, con temperaturas promedio de agua caliente de 58 a 62<sup>0</sup>C, y temperaturas del afluente de agua fría de 7 a 11<sup>0</sup>C trabajará con normalidad generando voltajes de hasta 1 voltio, la dificultad que se encuentra en la ejecución de este proyecto de investigación es el amperaje bajo que muestra como resultado 0.09 amperios.

Uno de los problemas de ejecutar el proyecto fue que las termas de Papallacta como ya se mencionó en este capítulo, son de propiedad privada, lo que dificulta no solamente la adquisición de datos, sino también el pensar en la ejecución del mismo a gran escala.

## **5.8 Verificación de la hipótesis**

De la hipótesis “La caracterización del flexinol como generador de energía eléctrica, permitirá la propuesta de una máquina térmica limpia así como la evaluación del potencial energético en sectores que posean fuentes geotermales”

En el capítulo III se realiza la toma de datos a través de instrumentos que poseen un margen de error relativamente grande, pero a su vez permite determinar los

voltajes generados, en el capítulo V se utiliza sensores con mayor precisión lo que permite obtener el potencial energético del prototipo.

Partiendo de esta base se puede manifestar que en el prototipo a escala de laboratorio permite determinar el potencial energético a través del uso del mismo, verificando temperaturas de trabajo tanto en los afluentes de agua caliente como en los de agua fría.

Si se realiza una comparación entre el sistema fotovoltaico el cual básicamente consiste en convertir la energía solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas, elaboradas a base de silicio puro con adición de impurezas de boro y fosforo, y son capaces de generar cada una de ellas una corriente de 2 a 4 amperios, a un voltaje de 0.46 a 0.48 voltios generando un potencial eléctrico de 1 a 2 Watts (Real & Perilla, 2012), en el prototipo se obtuvo voltajes según la Tabla 5.2 de de 0.85 V y 0.08 A con un potencial energético de 0.068 Watts, la diferencia entre ambos es sustancial debido en gran parte a la transferencia del contenedor de agua caliente al contenedor de agua fría, lo que provoca que a escala de laboratorio el prototipo tenga pérdidas mecánicas como eléctricas. Estas podrían ser disminuidas si se optará implementar en las zonas geotérmicas del País, debido a que si se hace pasar por los contenedores flujos continuos de agua, esto resultaría en un sistema mucho más eficiente en cuanto a la transferencia de flujos entre los mencionados contenedores.

## **5.9 Conclusiones generales**

El objetivo principal de este apartado es analizar la viabilidad de crear un prototipo de máquina térmica limpia basado en una aleación SMA, como alternativa a los sistemas convencionales. Se desea que el prototipo creado sirva de base para realizar un estudio más profundo de nuevos sistemas y lograr solucionar las limitaciones existentes.

1. Una vez que se realizó el estado del arte y aspectos teóricos se puede concluir que el material bajo investigación tiene un campo de aplicación generalizada en

la medicina y la robótica, debido en gran medida a que se lo puede activar mediante voltajes de corriente continua pequeños de entre 10 a 20 voltios.

2. Se caracterizó el flexinol del tipo LT con una estructura martensítica en forma de láminas o tiras, determinando las temperaturas óptimas de trabajo y se estableciendo las mismas en el rango de 7 a 10<sup>0</sup>C para el afluente de agua fría y entre 65 a 72<sup>0</sup>C el afluente de agua caliente; los voltajes obtenidos en promedio son de 1 Voltio, 0.09 Amperios y 1450 rpm.
3. Los elementos necesarios para desarrollar el prototipo de máquina térmica limpia que permita la adquisición y visualización de datos consta de tres partes:
  - La parte mecánica que está compuesta de dos tanques reservorios pequeños por los cuales se hace circular agua caliente y agua fría respectivamente, un juego de poleas entrecruzadas a los cuales se ensambla el resorte de flexinol, ellos unidos por engranes plásticos; acoplado a una de las poleas un motor de corriente directa de la serie AFF-050SK, al cual se lo hace trabajar como generador.
  - La parte electrónica que está compuesta por una tarjeta Mbed NXP LPC1768 prototyping board a la cual se le adecuo dos sondas de temperatura DS18B20 una para agua caliente, y otra para agua fría; un sensor reflectivo QRD1114 para medir las revoluciones por minuto generadas, y,
  - La parte tres para la visualización de los datos adquiridos en la tarjeta se optó por el software LabView en el cual se desarrolló el programa.
4. Del ensayo en el prototipo y la conjunción de las tres partes que componen el prototipo se logró desarrollar una máquina térmica limpia que permitirá en el futuro desarrollar nuevas aplicaciones en el campo de la adquisición de energía renovable y autosustentable.
5. Se evaluó, pese a las restricciones presentadas en el Cantón Papallacta en la Provincia de Pichincha, que la implementación del prototipo es viable, hay que aclarar que no se realizó tomas de medidas en dicho sector por un tiempo prolongado, apenas se pudo evaluar durante un fin de semana, pero las medidas tomadas hacen prever que la implementación de dicho prototipo

permitiría obtener energía limpia. En el capítulo V se determinó la no factibilidad de implementar el prototipo en el Cantón Baños de la provincia de Tungurahua, debido a que las temperaturas tanto de las termas de agua caliente, así como los afluentes de agua fría no suministran la temperatura necesaria para el buen funcionamiento del prototipo.

6. Cuando se trata de un alambre de flexinol LT tipo martensítico, no se debe exceder valores de temperatura por encima de los 80°C ni inferior a los 5°C, debido a que el cambio térmico producido en el alambre provoca la ruptura del mismo

### **5.10 Recomendaciones**

1. Si bien es cierto que los voltajes y amperajes obtenidos son bajos pero al efectuar un análisis análogo a las celdas fotovoltaicas se puede garantizar abastecimientos de energía quedando como sugerencia realizar las investigaciones respectivas de la implementación de inversores en este tipo de tecnología.
2. Existe otra alternativa que no se ha probado, en el Cantón Baños Provincia del Azuay, (Viajando Ecuador) "El agua en estado natural es de tipo "hipotermal" y emerge a la superficie a una temperatura de 78°C"; así como también que "Generalmente los bañistas alternan su inmersión en termas calientes de 40°C y una fría de 8°C, lo cual resulta excelente para estimular la circulación y lograr un efecto relajante y rejuvenecedor", la experiencia del investigador es que una vez que se toman o adquieren datos la temperatura real promedio en la terma de agua caliente tiene un error de -5°C, por lo que se presume que la temperatura real en la terma sea de 70 a 72°C.
3. Otra alternativa que puede complementar la presente investigación es el uso de celdas termoeléctricas utilizando el efecto peltier o su caso contrario el efecto seebeck.

# BIBLIOGRAFÍA

## Bibliografía consultada

AIE. (s.f.). *Consumo de energía* .

Buehle, W., Gilfrich, J., & Wiley, R. (1963). Effects of low temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. *Journal of Applied Physics*, 34, 1473-1475.

Carrasco, I., & Díaz, F. (2003). Alambres Musculares. *Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile*, 1-4.

Chan, C. M., Trigwell, S., & Duerig, T. (1990). Oxidation of a NiTi Alloy. *Surface and Interface Analysis*, 15(6), 349-354.

Contreras, L. (6 de Marzo de 2012). *Materiales, tecnología y producción*. Obtenido de <http://materialestecnologiayproduccion.blogspot.com/>

Dynalloy Inc. (s.f.). *Markers of dynamic alloys*. Obtenido de Flexinol: [http://www.dynalloy.com/tech\\_data\\_springs.php](http://www.dynalloy.com/tech_data_springs.php)

Engineering Chemical. (1984).

Forero, L. E., & Vesga, W. (Septiembre de 2007). Transformaciones de fase y comportamiento mecánico bajo cargas cíclicas de una aleación binaria Ni-Ti. (U. T. Pereira, Ed.) *Scientia et Technica Año XIII*(No 36).

Gilbertson, R., Miranda, C., & Tuchman, M. (1988). *Muscle wires project book: A hands-on guide to amazing robotic muscle that shorten when electrically powered*. California: San Rafael.

Johnson, D. (1988). *Shape memory metals*. IEEE Potentials.

Kauffman, G. Z. (1992). Chem. Educ.

MacGuineas, C. (13 de March de 1983). *The Washington Post Magazine*, 51.

- Machado, L. G., & Savi, M. A. (2003). Medical applications of shape memory alloy. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*(683-691), 36(6) .
- Otsuka, K., & Ren, X. (1998). Recent developments in the research of Shape Memory Alloys. *Intermetallic* 7, pp 511-528.
- Real, J. A., & Perilla, J. H. (2012). *Planta de generación fotovoltaica*.
- Renovables, E. (2009). *fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Madrid: Editorial Rústica.
- Schetky, L. M. (1979). *Sci. Amer.* .
- Swamy, A., & Fagan, M. J. (2007). *Development of an active artificial laboratory lumbar spine*.
- The Telegraph Agency of the Soviet Union. (5 de October de 1989).
- United States Patent. (2014). *patentimages.storage.googleapis.com*. Obtenido de <https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com>
- Viajandox Ecuador. (s.f.). Obtenido de [www.viajandox.com](http://www.viajandox.com)
- Wakjira, J. F. (2001). *The VT1 Shape Memory Alloy Heat Engine Design*. Blacksburg, VA, USA.
- Wang, F. (1985). *Paper No. 851495*. SAE.
- Wayman, C. (1992). Shape memory alloys and related phenomena. *Progress in Materials Science.* , 36.pp 203.

## **Bibliografía citada**

- Ashley, S. (1988). *Popular Science*, 233(1), 78.
- Avner, S. H. (1987). *Introducción a la metalurgia física*. México: McGRAW-HILL.
- Costa, J. M. (2005). *Diccionario de Química Física*. Barcelona: Publicacions i Edicions.

- De la Flor López, S. (2005). *Simulación Numérica y correlación experimental de las propiedades mecánicas en las aleaciones con memoria de forma*. Tarragona.
- Gilbertson, R., Miranda, C., & Tuchman, M. (2003). Muscle wire project book. *Mondo-tronics Public*, ISBN 1-879896-14-1.
- Hirose, A., Uchihara, M., Araki, T., Honda, K., & Kodoh, M. (1990). J. Japan Inst. . *Metals*, 262.
- Johnson, A. (1998). *State-of-the-art of SMA actuators, TiNi*. Alloy Company.
- Mansilla, D. (2008). "Integración Energética y Recursos Naturales en América Latina". *La revista del CCC*.
- Mansilla, D. (2011). "Integración Energética y Recursos Naturales en América Latina". *La revista del CCC*.
- Otsuka, K., & Ren, X. (2005). Physical Metallurgy of Ti–Ni-based Shape Memory Alloys. *Progress in Materials Science.*, 50, 511–678.
- Russell, S. (2000). Nitinol melting and fabrication. *CORDES Corporation. Nitinol Devices and components. SMST-200. Conference Proceedings*.
- Sánchez, A. (2010). *Estudio e implementación de actuadores basados en aleaciones SMA*. Obtenido de [http://www.unicauca.edu.co/deic/Documentos/PFC\\_Andres\\_Cano\\_Sanchez.pdf](http://www.unicauca.edu.co/deic/Documentos/PFC_Andres_Cano_Sanchez.pdf)
- The Telegraph Agency of the Soviet Union. (5 de October de 1989).
- Trepanier, C., & Pelton, A. R. (2002). Biocompatibility and corrosion resistance of NiTi. *Cordis-NDC*, 7.
- Van Wylen, G. J., & Sonntag, R. E. (1972). *Fundamentos de Termodinámica*. México: Limusa-Wiley S.A.
- Villoslada, Á. (2010). *Diseño y aplicación de un actuador SMA en el control de manos robóticas*. Obtenido de [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/.../PFC\\_Alvaro\\_Villoslada\\_Pecina.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/.../PFC_Alvaro_Villoslada_Pecina.pdf)

Wang, F. E. ( 9–12 de September de 1985). Society of Automotive Engineers.  
*SAE Paper No. 851495.*

# **ANEXOS**

 MOTOR ECOLÓGICO QUE FUNCIONA CON AGUA - Mozilla Firefox

 [www.todoelectronica.com/motor-ecologico-que-funciona-con-agua](http://www.todoelectronica.com/motor-ecologico-que-funciona-con-agua)





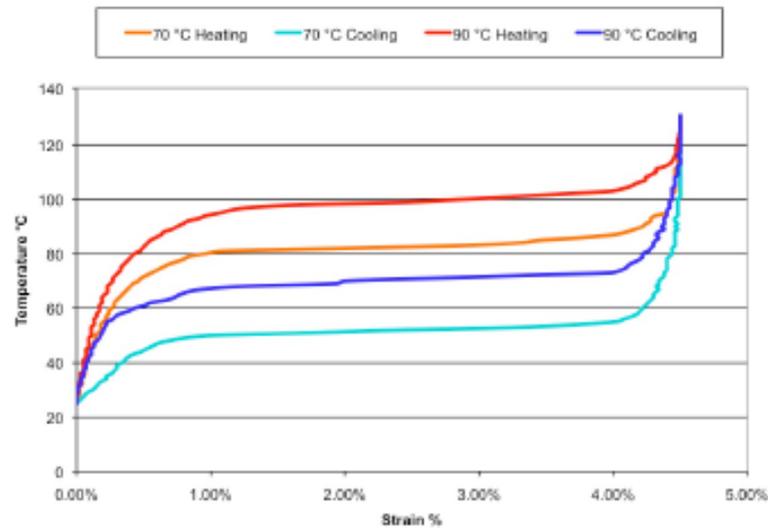
FLEXINOL®

DYNALLOY, Inc.  
Makers of Dynamic Alloys

## NICKEL - TITANIUM ALLOY PHYSICAL PROPERTIES

1. Density	0.235 lb/in <sup>3</sup> (6.45 g/cm <sup>3</sup> )
2. Specific Heat	0.20 BTU/lb * °F (0.2 cal/g * °C)
3. Melting Point	2370 °F (1300 °C)
4. Latent Heat of Transformation	10.4 BTU/lb (5.78 cal/g)
5. Thermal Conductivity	10.4 BTU/hr * ft * °F (0.18 W/cm * °C)
6. Thermal Expansion Coefficient	
Martensite	$3.67 \times 10^{-6} / ^\circ F$ ( $6.6 \times 10^{-6} / ^\circ C$ )
Austenite	$6.11 \times 10^{-6} / ^\circ F$ ( $11.0 \times 10^{-6} / ^\circ C$ )
7. Poisson Ratio	0.33
8. Electrical Resistivity (approx.)	
Martensite:	32 micro-ohms * in (80 micro-ohms * cm)
Austenite:	39 micro-ohms * in (100 micro-ohms * cm)

Avenue, Irvine, California 92614 USA 714-436-1206 714-436-0511 fax <http://www.dynalloy.com>



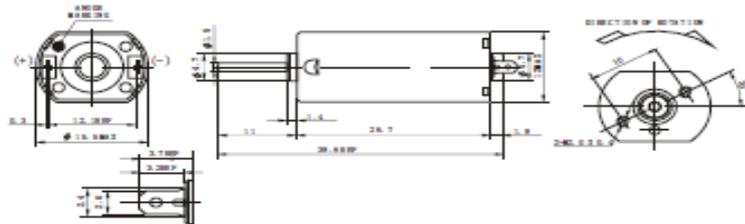
Typical Temperature vs. Strain Characteristics for Dynalloy's standard 158°F (70°C) "LT" and 194°F (90°C) "HT" Austenite start temperature alloys, at 172 MPa

**AFF-050SK Series**  
Precious metal-brush motors

Typical Applications:  
Audio and Visual Equipments  
● Car CD Player/ Recorder/ DVD Player  
Household Appliances  
● Electric Shaver



Dimensional Drawing

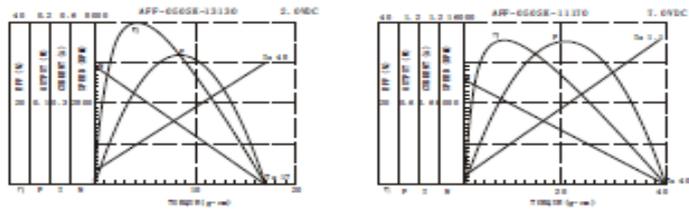


(UNIT) : Millimetre (WEIGHT) : 18.0g(AFF050K)

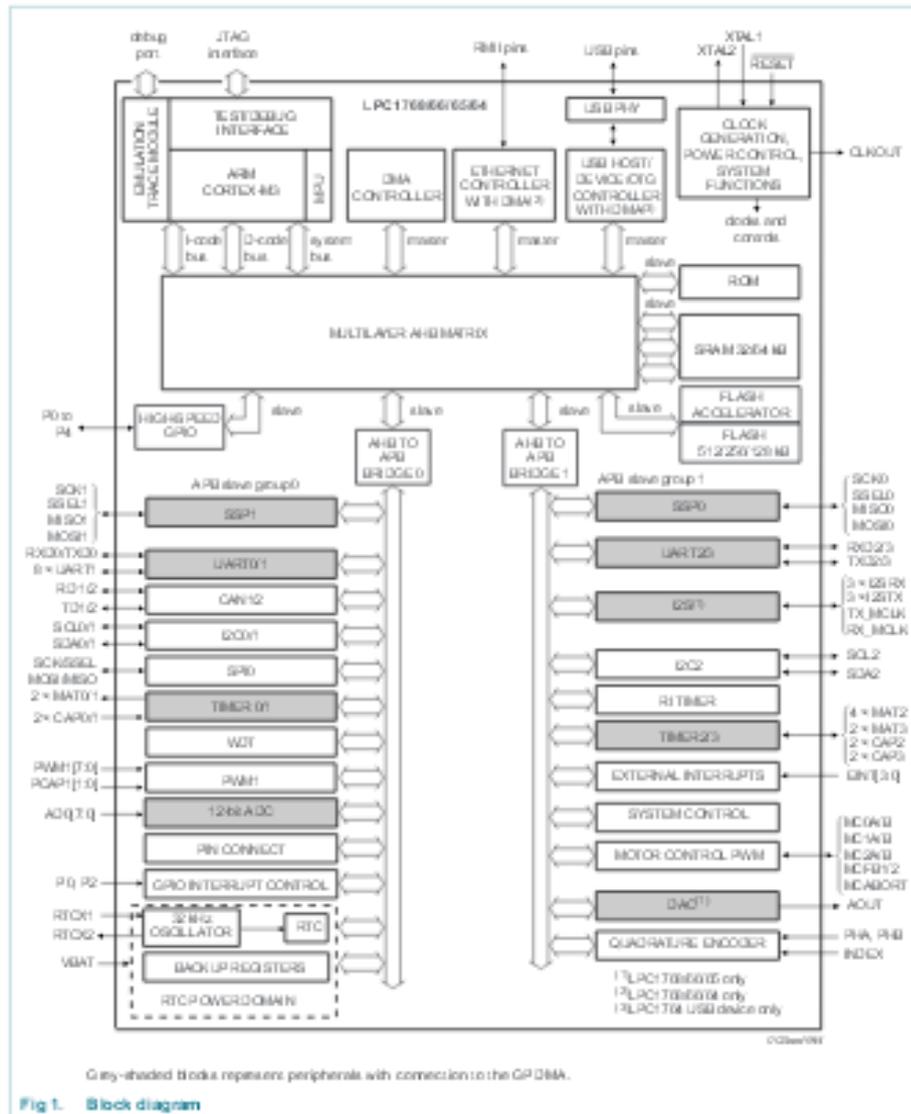
Technical Parameters

MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		TYPICAL LOAD CHARACTERISTICS				STALL			
	OPERATING RANGE	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE	OUTPUT	TORQUE	CURRENT		
	V	V	r/min	A	r/min	A	g.cm mN.m	W	g.cm mN.m	A		
AFF-050SK-11170	1.5~9.0V	1.0	10300	0.046	8500	0.17	7.0	0.69	0.61	46	4.51	0.82
AFF-050SK-09250	5.0~11.5V	8.0	7900	0.027	6300	0.11	7.0	0.69	0.45	35	3.43	0.43
AFF-050SK-13130	2.0~4.0V	2.0	3700	0.038	3000	0.11	3.0	0.29	0.09	17	1.67	0.45
		4.0	7600	0.050	6300	0.20	6.0	0.59	0.39	35	3.43	0.65

Curve Chart



5. Block diagram





**DS18B20**  
**Programmable Resolution**  
**1-Wire Digital Thermometer**

**DESCRIPTION**

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of -55°C to +125°C and is accurate to ±0.5°C over the range of -10°C to +85°C. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasitic power"), eliminating the need for an external power supply.

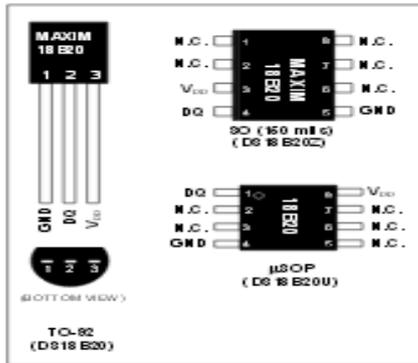
Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. It is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental control, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

**FEATURES**

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Each Device has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in an On-Chip Read-Only Memory
- Multitap Capability Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications
- Requires No External Components
- Can Be Powered from Data Line, Power Supply Range is 3.0V to 5.5V
- Measures Temperature from -55°C to +125°C (-47°F to +257°F)
- ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
- Thermometer Resolution is User-Selectable from 9 to 12 Bits
- Convert Temperature to 12-Bit Digital Word in 750ms (Max)

- User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings
- Alarm Search Command Identifies and Addresses Devices Whose Temperature is Outside Pre-Settable Limit (Temperature Alarm Condition)
- Available in 8-Pin SO (1.30 mm), 8-Pin µSOP, and 3-Pin TO-92 Packages
- Software Compatible with the DS18B22
- Applications Include Thermostatic Control, Industrial Systems, Consumer Products, Thermometers, or Any Thermally Sensitive System

**PIN CONFIGURATIONS**



1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

REV: 042208

3479-1002-01

**ORDERING INFORMATION**

PART	TEMP RANGE	PIN PACKAGE	TOP MARK
DS18B20	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20+	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20+I&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20+I&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20-KL/I&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20-KL+I&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20U	-55°C to +125°C	8 µSOP	18B20
DS18B20U+	-55°C to +125°C	8 µSOP	18B20
DS18B20U+I&R	-55°C to +125°C	8 µSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20U+I&R	-55°C to +125°C	8 µSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20Z	-55°C to +125°C	3 SO	D618B20
DS18B20Z+	-55°C to +125°C	3 SO	D618B20
DS18B20Z+I&R	-55°C to +125°C	3 SO (2500 Piece)	D618B20
DS18B20Z+I&R	-55°C to +125°C	3 SO (2500 Piece)	D618B20

\*Available in lead-free package. A "L" will appear on the top mark of lead-free packages.

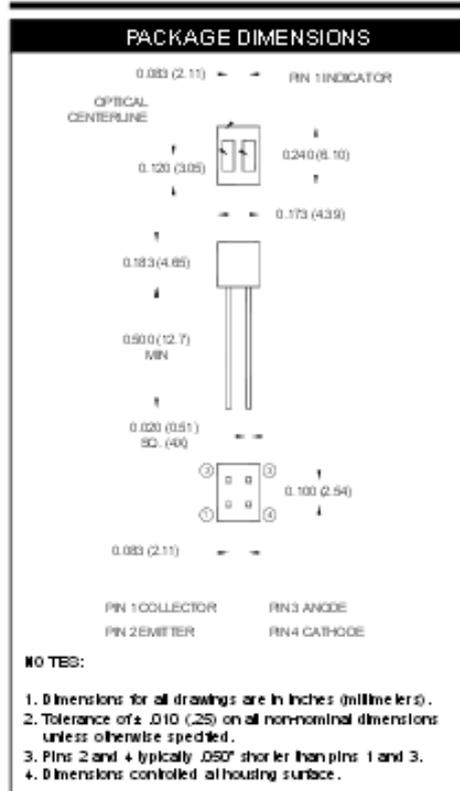
†SO = Tape and reel.

\*TO-92 packages in tape and reel can be ordered with straight or flared leads. Choose "SL" for straight leads. Bulk TO-92 orders are straight leads only.

**PIN DESCRIPTION**

PIN			NAME	FUNCTION
SO	µSOP	TO-92		
1, 2, 4, 7, 8	2, 3, 5, 4, 7	—	NC	No Connection
3	8	3	V <sub>DD</sub>	Optional V <sub>DD</sub> . V <sub>DD</sub> must be grounded for operation in parasitic power mode.
4	1	2	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasitic power mode (see the <i>Powering the DS18B20</i> section.)
5	4	1	GND	Ground

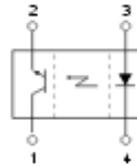
## QRD1113/1114 REFLECTIVE OBJECT SENSOR

**FEATURES**

- Phototransistor Output
- No contact surface sensing
- Unifocused for sensing diffused surfaces
- Compact Package
- Daylight filter on sensor

**NOTES** (Applies to Max Ratings and Characteristics Tables.)

1. Derate power dissipation linearly 1.38 mW/°C above 25°C.
2. RMA flux is recommended.
3. Methyl alcohol or Isopropyl alcohols are recommended as cleaning agents.
4. Soldering Iron 1/16" (1.6mm) from housing.
5. As long as leads are not under any spring tension.
6. D is the distance from the sensor face to the reflective surface.
7. Cross talk (I<sub>CO</sub>) is the collector current measured with the indicator current on the input diode and with no reflective surface.
8. Measured using an Eastman Kodak neutral white test card with 90% diffused reflecting as a reflective surface.

**SCHEMATIC****ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Rating	Units
Operating Temperature	T <sub>OPR</sub>	-40 to +85	°C
Storage Temperature	T <sub>STG</sub>	-40 to +85	°C
Lead Temperature (Solder Iron) <sup>(2,3)</sup>	T <sub>SOLD-I</sub>	240 for 5 sec	°C
Lead Temperature (Solder Flow) <sup>(2,3)</sup>	T <sub>SOLD-F</sub>	260 for 10 sec	°C
<b>EMITTER</b>			
Continuous Forward Current	I <sub>F</sub>	50	mA
Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	5	V
Power Dissipation <sup>(1)</sup>	P <sub>D</sub>	100	mW
<b>SENSOR</b>			
Collector-Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	30	V
Emitter-Collector Voltage	V <sub>ECO</sub>		V
Power Dissipation <sup>(1)</sup>	P <sub>D</sub>	100	mW

Anexo 7	Código fuente	1/18
<p><b>Código Fuente programa Principal</b></p> <pre> #include &lt;mbed.h&gt; Serial pc(USBTX, USBRX); #define FALSE 0 #define TRUE 1 #define MaxROMs 20 // Defines how many devices space is allocated for. DigitalInOut DQ(p8); AnalogIn ain2(p20); unsigned char SPad[9]; // Scratchpad storage unsigned char ROM[8]; unsigned char lastDiscrep = 0; // last discrepancy unsigned char doneFlag = 0; // Done flag unsigned char FoundROM[MaxROMs][8]; // table of found ROM codes unsigned char numROMs; // Number of found devices. unsigned char dowcrc; unsigned char dscrc_table[] = { 0, 94,188,226, 97, 63,221,131,194,156,126, 32,163,253, 31, 65, 157,195, 33,127,252,162, 64, 30, 95, 1,227,189, 62, 96,130,220, 35,125,159,193, 66, 28,254,160,225,191, 93, 3,128,222, 60, 98, 190,224, 2, 92,223,129, 99, 61,124, 34,192,158, 29, 67,161,255, 70, 24,250,164, 39,121,155,197,132,218, 56,102,229,187, 89, 7, 219,133,103, 57,186,228, 6, 88, 25, 71,165,251,120, 38,196,154, 101, 59,217,135, 4, 90,184,230,167,249, 27, 69,198,152,122, 36, 248,166, 68, 26,153,199, 37,123, 58,100,134,216, 91, 5,231,185, 140,210, 48,110,237,179, 81, 15, 78, 16,242,172, 47,113,147,205, 17, 79,173,243,112, 46,204,146,211,141,111, 49,178,236, 14, 80, 175,241, 19, 77,206,144,114, 44,109, 51,209,143, 12, 82,176,238, 50,108,142,208, 83, 13,239,177,240,174, 76, 18,145,207, 45,115, 202,148,118, 40,171,245, 23, 73, 8, 86,180,234,105, 55,213,139, 87, 9,235,181, 54,104,138,212,149,203, 41,119,244,170, 72, 22, 233,183, 85, 11,136,214, 52,106, 43,117,151,201, 74, 20,246,168, 116, 42,200,150, 21, 75,169,247,182,232, 10, 84,215,137,107, 53}; </pre>		

```
////////////////////////////////////
OW_RESET - performs a reset on the 1-wire bus and returns the presence detect.
unsigned char ow_reset(void) {
    unsigned char presence;
    DQ.output();
    DQ = 0; //pull DQ line low
    wait_us(480); // leave it low for 480us
    DQ.input(); // allow line to return high
    wait_us(70); // wait for presence
    presence = DQ; // get presence signal
    wait_us(410); // wait for end of timeslot
    return(presence); // presence signal returned, 0=presence, 1 = no part
}
////////////////////////////////////
// READ_BIT - reads a bit from the one-wire bus.
unsigned char read_bit(void) {
    unsigned char retval;
    wait_us(1); // Recovery time
    DQ.output();
    DQ = 0; // pull DQ low to start timeslot
    wait_us(2);
    DQ.input(); // Tristate line
    wait_us(10); // delay 10 us from start of timeslot
    retval=DQ;
    wait_us(48); // minimum Read time slot: 60 us.
    return(retval); // return value of DQ line
}
////////////////////////////////////
// WRITE_BIT - writes a bit to the one-wire bus, passed in bitval.
void write_bit(unsigned char bitval) {
    wait_us(1); // Recovery time
    DQ.output();
```

ANEXO 7	CÓDIGO FUENTE	3/18
<pre> DQ = 0; // pull DQ low to start timeslot wait_us(10); if(bitval==1) DQ =1; // return DQ high if write 1 wait_us(50); // hold value for remainder of timeslot DQ.input(); // Release line } /// // READ_BYTE - reads a byte from the one-wire bus. unsigned char read_byte(void) {     unsigned char i, value=0;     for (i=0;i&lt;8;i++) {         if(read_bit()) value =0x01&lt;&lt;i; // reads byte in, one byte at a time and then shifts it left     }     return(value); } /// // WRITE_BYTE - writes a byte to the one-wire bus. void write_byte(char val) {     unsigned char i;     unsigned char temp;     for (i=0; i&lt;8; i++) { // writes byte, one bit at a time         temp = val&gt;&gt;i; // shifts val right 'i' spaces         temp &amp;= 0x01; // copy that bit to temp         write_bit(temp); // write bit in temp into     } } /// // ONE WIRE CRC unsigned char ow_crc( unsigned char x) {     dowcrc = dscrc_table[dowcrc^x];     return dowcrc; </pre>		

```
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
// NEXT
// The Next function searches for the next device on the 1-Wire bus. If
// there are no more devices on the 1-Wire then false is returned.
unsigned char Next(void) {
    unsigned char m = 1; // ROM Bit index
    unsigned char n = 0; // ROM Byte index
    unsigned char k = 1; // bit mask
    unsigned char x = 0;
    unsigned char discrepMarker = 0; // discrepancy marker
    unsigned char g; // Output bit
    unsigned char nxt; // return value
    int flag;
    nxt = FALSE; // set the next flag to false
    dowcrc = 0; // reset the dowcrc
    flag = ow_reset(); // reset the 1-Wire
    if(flag||doneFlag) { // no parts -> return false
        lastDiscrep = 0; // reset the search
        return FALSE;
    }
    write_byte(0xF0); // send SearchROM command
    do { // for all eight bytes
        x = 0;
        if(read_bit()==1) x = 2;
        wait_us(120);
        if(read_bit()==1) x |= 1; // and its complement
        if(x ==3) // there are no devices on the 1-Wire
            break;
        else {
            if(x>0) // all devices coupled have 0 or 1
                g = x>>1; // bit write value for search
```

```

else {
    // if this discrepancy is before the last discrepancy on a previous
Next then pick the same as last time
    if(m<lastDiscrep)
        g = ((ROM[n]&k)>0);
    else // if equal to last pick 1
        g = (m==lastDiscrep); // if not then pick 0
    // if 0 was picked then record position with mask k
    if (g==0) discrepMarker = m;
}
if(g==1) // isolate bit in ROM[n] with mask k
    ROM[n] |= k;
else
    ROM[n] &= ~k;
write_bit(g); // ROM search write
m++; // increment bit counter m
k = k<<1; // and shift the bit mask k
if(k==0) { // if the mask is 0 then go to new ROM // byte n and reset mask
    ow_crc(ROM[n]); // accumulate the CRC
    n++; k++;
}
}
}
while(n<8); //loop until through all ROM bytes 0-7
if(m<65||dowcrc) // if search was unsuccessful then
    lastDiscrep=0; // reset the last discrepancy to 0
else { // search was successful, so set lastDiscrep, lastOne, nxt
    lastDiscrep = discrepMarker;
    doneFlag = (lastDiscrep==0);
    nxt = TRUE; // indicates search is not complete yet, more parts remain
}
return nxt;

```

```
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
// FIRST
// The First function resets the current state of a ROM search and calls
// Next to find the first device on the 1-Wire bus.
unsigned char First(void) {
    lastDiscrep = 0; // reset the rom search last discrepancy global
    doneFlag = FALSE;
    return Next(); // call Next and return its return value
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
// FIND DEVICES
void FindDevices(void) {
    unsigned char m;
    if(!low_reset()) { //Begins when a presence is detected
        if(First()) { //Begins when at least one part is found
            numROMs=0;
            do {
                numROMs++;
                for(m=0;m<8;m++) {
                    FoundROM[numROMs][m]=ROM[m]; //Identifies ROM
                }
                pc.printf("ROM CODE
=%02X:%02X:%02X:%02X:%02X:%02X:%02X:%02X %d\r\n",
FoundROM[numROMs][7],FoundROM[numROMs][6],FoundROM[numROMs]
[5],FoundROM[numROMs][4],
FoundROM[numROMs][3],FoundROM[numROMs][2],FoundROM[numROMs]
[1],FoundROM[numROMs][0],numROMs);
            }
            while (Next())&&(numROMs<MaxROMs)); //Continues until no additional
devices are found
        }
    }
}
```



ANEXO 7	CÓDIGO FUENTE	8/18
<pre> unsigned int ReadRawTemp(unsigned char device) {     int HighByte, LowByte;     Send_MatchRom(device); // Select device.     write_byte( 0xbe); // Read Scratchpad command.     LowByte=read_byte();     HighByte=read_byte();     return (HighByte &lt;&lt; 8) + LowByte; }  ///  float Get_Temp(unsigned char device) {     int Raw = ReadRawTemp(device);     if((Raw&gt;&gt;8) &amp; 0x80) { // Check if temperature is negative.         Raw = (Raw ^ 0xFFFF) + 1;         Raw *= -1;     }     float temperature = (float)Raw / 16.0;     return temperature; }  // //long float delta_time = 0; int rpm = 0; //float inc_enc_constant = 1;//0.03125; // 32 Encoder Ticks per Revolution //Timer t; // t.read_us() is 32bit interger, max 2^31 - 1 = 2147483647 us = 2147.483647 s = 35.7913941167 min /* class Counter { public:     Counter(PinName pin) : _interrupt(pin) { // create the InterruptIn on the pin specified to Counter         _interrupt.fall(this, &amp;Counter::increment); // attach increment function of this </pre>		

ANEXO 7	CÓDIGO FUENTE	9/18
<pre> counter instance } void increment() {     delta_time = t.read_us();     t.reset();     rpm = ( inc_enc_constant / (delta_time/1000000) ) *60 ; // rev / m     _count++; } int read() {     return _count; } private:     InterruptIn _interrupt;     volatile int _count; }; Counter counter(p30); // opto interrupter counter // */ #include "QEI.h" QEI wheel (p25, p26, p27, 1); //////////////////////////////////// int main() {     float temperature;     float volta;     DQ.output();     DQ = 0;     DQ.input();     pc.baud(19200);     pc.printf("\n\n*** Test with multiple DS18B20 ***\r\n\n");     pc.printf("Memory allocated for %d devices.\r\n",MaxROMs);     pc.printf("Scanning for devices...\r\n");     ow_reset(); </pre>		

ANEXO 7	CÓDIGO FUENTE	10/18
<pre> FindDevices(); pc.printf("Scanning completed.\r\n"); while (1) {     ConvT(); // Issue Convert T command.     wheel.reset ();     wait_ms (1000);     rpm=60*wheel.getRevolutions();     pc.printf("r%i;", rpm);     temperature = Get_Temp(1);     pc.printf("t%07.4f;",temperature);     temperature = Get_Temp(2);     pc.printf("T%07.4f;",temperature);     volta=0.00055* ain2.read_u16();     pc.printf("v%07.4f; ", volta); } } </pre>		
<p><b>Código Fuente Librería QEI</b></p>		
<p>Librería para uso de encoder incremental, éste encoder se ha implementado con el uso del sensor QRD1114</p>		
<pre> /**  * @author Aaron Berk  *  * @section LICENSE  *  * Copyright (c) 2010 ARM Limited  *  * Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy  * of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal  * in the Software without restriction, including without limitation the rights  * to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell  * copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is  * furnished to do so, subject to the following conditions: </pre>		

ANEXO 7	CÓDIGO FUENTE	11/18
<p>*  * The above copyright notice and this permission notice shall be included in  * all copies or substantial portions of the Software.  *  * THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY  OF ANY KIND, EXPRESS OR  * IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES  OF MERCHANTABILITY,  * FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT.  IN NO EVENT SHALL THE  * AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR  ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER  * LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT  OR OTHERWISE, ARISING FROM,  * OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE  USE OR OTHER DEALINGS IN  * THE SOFTWARE.  *  * @section DESCRIPTION  *  * Quadrature Encoder Interface.  *  * A quadrature encoder consists of two code tracks on a disc which are 90  * degrees out of phase. It can be used to determine how far a wheel has  * rotated, relative to a known starting position.  *  * Only one code track changes at a time leading to a more robust system than  * a single track, because any jitter around any edge won't cause a state  * change as the other track will remain constant.  *  * Encoders can be a homebrew affair, consisting of infrared emitters/receivers  * and paper code tracks consisting of alternating black and white sections;</p>		

\* alternatively, complete disk and PCB emitter/receiver encoder systems can  
 \* be bought, but the interface, regardless of implementation is the same.

\*

\* +-----+ +-----+ +-----+

\* Channel A | ^ | | | | |

\* ---+ ^ +-----+ +-----+ +-----

\* ^ ^

\* ^ +-----+ +-----+ +-----+

\* Channel B ^ | | | | | |

\* -----+ +-----+ +-----+ +-----

\* ^ ^

\* ^ ^

\* 90deg

\*

\* The interface uses X2 encoding by default which calculates the pulse count

\* based on reading the current state after each rising and falling edge of

\* channel A.

\*

\* +-----+ +-----+ +-----+

\* Channel A | | | | | |

\* ---+ +-----+ +-----+ +-----

\* ^ ^ ^ ^ ^

\* ^ +-----+ ^ +-----+ ^ +-----+

\* Channel B ^ | ^ | ^ | ^ | |

\* -----+ ^ +-----+ ^ +-----+ +---

\* ^ ^ ^ ^ ^

\* ^ ^ ^ ^ ^

\* Pulse count 0 1 2 3 4 5 ...

\*

\* This interface can also use X4 encoding which calculates the pulse count

\* based on reading the current state after each rising and falling edge of

\* either channel.

\*

```
*      +-----+  +-----+  +-----+
```

```
* Channel A  |  |  |  |  |  |
```

```
*      ---+  +-----+  +-----+  +-----
```

```
*      ^  ^  ^  ^  ^
```

```
*      ^ +-----+ ^ +-----+ ^ +-----+
```

```
* Channel B  ^ | ^ | ^ | ^ | ^ |  |
```

```
*      -----+ ^ +-----+ ^ +-----+  +--
```

```
*      ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^
```

```
*      ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^
```

```
* Pulse count 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ...
```

\*

\* It defaults

\*

\* An optional index channel can be used which determines when a full

\* revolution has occurred.

\*

\* If a 4 pulses per revolution encoder was used, with X4 encoding,

\* the following would be observed.

\*

```
*      +-----+  +-----+  +-----+
```

```
* Channel A  |  |  |  |  |  |
```

```
*      ---+  +-----+  +-----+  +-----
```

```
*      ^  ^  ^  ^  ^
```

```
*      ^ +-----+ ^ +-----+ ^ +-----+
```

```
* Channel B  ^ | ^ | ^ | ^ | ^ |  |
```

```
*      -----+ ^ +-----+ ^ +-----+  +--
```

```
*      ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^
```

```
*      ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^
```

```
*      ^ ^ ^ +---+ ^ ^ +---+ ^
```

```
*      ^ ^ ^ | | ^ ^ | | ^
```

```
* Index  -----+ +-----+ +-----
```

ANEXO 7	CÓDIGO FUENTE	14/18
<pre> *           ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ * Pulse count 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ... * Rev. count 0      1      2 * * Rotational position in degrees can be calculated by: * * (pulse count / X * N) * 360 * * Where X is the encoding type [e.g. X4 encoding =&gt; X=4], and N is the number * of pulses per revolution. * * Linear position can be calculated by: * * (pulse count / X * N) * (1 / PPI) * * Where X is encoding type [e.g. X4 encoding =&gt; X=44], N is the number of * pulses per revolution, and PPI is pulses per inch, or the equivalent for * any other unit of displacement. PPI can be calculated by taking the * circumference of the wheel or encoder disk and dividing it by the number * of pulses per revolution. */ /** * Includes */ #include "QEI.h" QEI::QEI(PinName channelA,         PinName channelB,         PinName index,         int pulsesPerRev,         Encoding encoding) : channelA_(channelA), channelB_(channelB),         index_(index) {     pulses_ = 0; </pre>		

ANEXO 7	CÓDIGO FUENTE	15/18
<pre> revisions_ = 0;   pulsesPerRev_ = pulsesPerRev;   encoding_ = encoding;   //Workout what the current state is.   int chanA = channelA_.read();   int chanB = channelB_.read();   //2-bit state.   currState_ = (chanA &lt;&lt; 1)   (chanB);   prevState_ = currState_;   //X2 encoding uses interrupts on only channel A.   //X4 encoding uses interrupts on channel A,   //and on channel B.   channelA_.rise(this, &amp;QEI::encode);   channelA_.fall(this, &amp;QEI::encode);   //If we're using X4 encoding, then attach interrupts to channel B too.   if (encoding == X4_ENCODING) {     channelB_.rise(this, &amp;QEI::encode);     channelB_.fall(this, &amp;QEI::encode);   }   //Index is optional.   if (index != NC) {     index_.rise(this, &amp;QEI::index);   } } void QEI::reset(void) {   pulses_ = 0;   revisions_ = 0; } int QEI::getCurrentState(void) {   return currState_; } int QEI::getPulses(void) { </pre>		

ANEXO 7	CÓDIGO FUENTE	16/18
<pre> return pulses_; } int QEI::getRevolutions(void) {     return revolutions_; } // +-----+ //   X2 Encoding   // +-----+ // When observing states two patterns will appear: // Counter clockwise rotation: // 10 -&gt; 01 -&gt; 10 -&gt; 01 -&gt; ... // Clockwise rotation: // 11 -&gt; 00 -&gt; 11 -&gt; 00 -&gt; ... // We consider counter clockwise rotation to be "forward" and // counter clockwise to be "backward". Therefore pulse count will increase // during counter clockwise rotation and decrease during clockwise rotation. // +-----+ //   X4 Encoding   // +-----+ // There are four possible states for a quadrature encoder which correspond to // 2-bit gray code. // A state change is only valid if of only one bit has changed. // A state change is invalid if both bits have changed. // Clockwise Rotation -&gt; // 00 01 11 10 00 // &lt;- Counter Clockwise Rotation // If we observe any valid state changes going from left to right, we have // moved one pulse clockwise [we will consider this "backward" or "negative"]. // If we observe any valid state changes going from right to left we have // moved one pulse counter clockwise [we will consider this "forward" or // "positive"]. // We might enter an invalid state for a number of reasons which are hard to </pre>		

```
// predict - if this is the case, it is generally safe to ignore it, update
// the state and carry on, with the error correcting itself shortly after.
void QEI::encode(void) {
    int change = 0;
    int chanA = channelA_.read();
    int chanB = channelB_.read();
    //2-bit state.
    currState_ = (chanA << 1) | (chanB);
    if (encoding_ == X2_ENCODING) {
        //11->00->11->00 is counter clockwise rotation or "forward".
        if ((prevState_ == 0x3 && currState_ == 0x0) ||
            (prevState_ == 0x0 && currState_ == 0x3)) {
            pulses_++;
        }
        //10->01->10->01 is clockwise rotation or "backward".
        else if ((prevState_ == 0x2 && currState_ == 0x1) ||
            (prevState_ == 0x1 && currState_ == 0x2)) {
            pulses_--;
        }
    } else if (encoding_ == X4_ENCODING) {
        //Entered a new valid state.
        if (((currState_ ^ prevState_) != INVALID) && (currState_ != prevState_))
        {
            //2 bit state. Right hand bit of prev XOR left hand bit of current
            //gives 0 if clockwise rotation and 1 if counter clockwise rotation.
            change = (prevState_ & PREV_MASK) ^
                ((currState_ & CURR_MASK) >> 1);
            if (change == 0) {
                change = -1;
            }
            pulses_ -= change;
        }
    }
}
```

<b>ANEXO 7</b>	<b>CÓDIGO FUENTE</b>	<b>18/18</b>
<pre data-bbox="288 286 1369 584">    }     prevState_ = currState_; } void QEI::index(void) {     revolutions_++; }</pre>		

## ANEXO 8

GENERACIÓN DE REPORTE DE DATOS CON FLEXINOL				
DATOS ENTRADA				
REVOLUCIONES [rpm]	TEMPERATURA 1 [°C]	TEMPERATURA 2 [°C]	VOLTAJE [V]	AMPERAJE [A]
1605,85	68,69	7,50	1,04	0,09
1520,50	68,56	7,44	0,98	0,09
1641,96	68,62	7,50	1,04	0,09
1548,61	68,50	7,44	0,98	0,09
1514,86	68,44	7,38	1,02	0,09
1524,14	68,44	7,44	0,93	0,08
1476,29	68,38	7,38	1,00	0,09
1411,09	68,25	7,31	1,07	0,10
1583,75	68,12	7,31	1,05	0,10
1465,64	68,00	7,25	0,20	0,02
1508,30	68,06	7,31	0,99	0,09
1364,48	67,81	7,31	0,79	0,07
1442,11	67,56	7,25	0,97	0,09
1497,14	67,69	7,25	0,94	0,09
1362,92	67,50	7,31	1,01	0,09
1332,72	67,19	7,38	0,86	0,08
1295,46	67,12	7,44	0,92	0,08
1828,35	66,94	7,50	0,92	0,08
1377,62	66,56	7,69	0,85	0,08
1405,61	66,06	7,69	0,61	0,06
1323,06	65,69	7,75	0,89	0,08
1407,42	65,50	7,81	0,54	0,05
1742,88	65,50	7,81	0,67	0,06
1329,49	65,25	7,88	0,61	0,06
2089,83	65,19	7,94	0,81	0,07
1166,72	65,12	8,00	0,89	0,08
1056,52	65,12	8,06	0,80	0,07
1205,00	65,12	8,06	0,87	0,08
1196,85	65,12	8,12	0,54	0,05
1640,02	65,12	8,12	0,74	0,07
1323,51	65,12	8,19	0,75	0,07
1127,69	65,06	8,25	0,64	0,06
1268,99	65,00	8,25	0,84	0,08
1560,00	65,00	8,44	0,82	0,07
2042,30	65,06	8,50	1,04	0,09
1827,92	65,06	8,50	0,80	0,07
1408,54	65,06	8,56	0,73	0,07

**GENERACIÓN DE REPORTE DE DATOS CON FLEXINOL**

**DATOS ENTRADA**

<b>REVOLUCIONES [rpm]</b>	<b>TEMPERATURA 1 [°C]</b>	<b>TEMPERATURA 2 [°C]</b>	<b>VOLTAJE [V]</b>	<b>AMPERAJE [A]</b>
1173,38	65,19	8,62	0,65	0,06
1891,72	66,62	8,94	0,89	0,08
1703,92	67,06	8,88	0,75	0,07
1977,44	67,38	8,88	0,84	0,08
1873,79	68,75	8,81	0,93	0,08
1551,98	68,94	8,81	1,02	0,09
1453,41	69,69	8,88	0,68	0,06
1476,66	69,81	8,88	0,68	0,06
1704,92	70,00	8,94	0,94	0,09
1385,28	70,06	8,94	0,93	0,08
1633,09	64,56	9,00	0,68	0,06
1055,08	64,25	9,00	0,53	0,05
1018,99	64,06	9,50	0,30	0,03
1013,50	64,25	9,56	0,83	0,08
1230,37	64,50	9,69	0,84	0,08
1236,49	65,06	9,81	0,82	0,07
1316,61	65,25	9,88	0,97	0,09
1577,50	65,94	9,94	0,75	0,07
1515,27	67,88	9,94	1,06	0,10
1550,84	67,56	9,94	0,85	0,08
1653,09	68,94	10,00	0,76	0,07
1494,85	68,94	10,00	0,72	0,07
1399,63	69,38	10,06	0,84	0,08
1278,87	69,62	10,06	0,87	0,09
1549,35	69,88	10,12	0,88	0,08
1316,29	70,00	10,12	0,89	0,09
1305,12	70,19	10,19	0,89	0,10
1890,83	70,56	10,25	0,85	0,08
2071,84	70,69	10,25	0,81	0,07
1495,98	71,06	10,38	0,82	0,08
1299,97	71,31	10,44	0,75	0,09
1883,41	71,31	10,56	0,82	0,08
1221,42	71,25	10,69	0,82	0,08
1279,02	71,12	10,69	0,80	0,07
1406,33	71,00	10,75	0,73	0,08
1142,83	70,81	10,81	0,73	0,07
1066,27	70,75	10,81	0,67	0,06
1304,96	70,69	10,88	0,73	0,08

**GENERACIÓN DE REPORTE DE DATOS CON FLEXINOL**

**DATOS ENTRADA**

<b>REVOLUCIONES [rpm]</b>	<b>TEMPERATURA 1 [°C]</b>	<b>TEMPERATURA 2 [°C]</b>	<b>VOLTAJE [V]</b>	<b>AMPERAJE [A]</b>
1247,34	70,69	10,88	0,75	0,08
1150,49	70,56	10,94	0,79	0,07
1286,85	70,50	10,94	0,77	0,08
1576,29	70,50	11,00	0,84	0,08
1436,22	70,44	11,00	0,81	0,07
1106,24	70,38	11,06	0,19	0,02
1250,43	70,06	11,19	0,79	0,07
1054,57	70,00	11,25	0,37	0,03
1325,10	69,75	11,31	0,76	0,07
1051,73	69,62	11,31	0,13	0,01
1161,34	69,56	11,38	0,45	0,04
1248,36	69,44	11,44	0,84	0,08
1256,27	69,25	11,44	0,81	0,07
1242,77	69,19	11,50	0,88	0,08
1406,99	69,12	11,50	0,73	0,07
1338,61	69,06	11,56	0,81	0,07
1201,96	69,00	11,56	0,73	0,07
1202,64	68,69	11,62	0,64	0,06
1862,60	68,44	11,75	0,77	0,07
1389,14	68,06	11,81	0,37	0,03
1109,47	68,00	11,81	0,56	0,05
1691,36	69,69	11,00	0,37	0,03
1019,78	75,69	10,44	0,40	0,04
1394,87	75,75	10,38	0,80	0,07
1248,03	75,75	10,25	0,82	0,07
1259,97	75,69	10,19	0,94	0,09
1373,70	75,62	10,06	0,82	0,07
1373,41	75,44	10,06	0,83	0,08
1480,63	75,12	10,00	1,04	0,08
1432,52	75,25	10,00	1,02	0,08
1433,70	74,88	9,94	0,88	0,08
1623,21	74,62	9,88	0,79	0,07
1447,29	74,62	9,88	0,72	0,07
1398,89	74,38	9,81	0,74	0,07
1341,72	74,38	9,81	1,00	0,09
1502,95	74,38	9,81	1,00	0,09
1530,06	74,12	9,75	1,03	0,09
1351,98	74,06	9,75	0,68	0,06

**GENERACIÓN DE REPORTE DE DATOS CON FLEXINOL**

**DATOS ENTRADA**

<b>REVOLUCIONES [rpm]</b>	<b>TEMPERATURA 1 [°C]</b>	<b>TEMPERATURA 2 [°C]</b>	<b>VOLTAJE [V]</b>	<b>AMPERAJE [A]</b>
1670,59	73,62	9,69	0,92	0,08
1156,83	73,12	9,69	0,90	0,08
1628,10	72,94	9,62	0,91	0,08
1438,85	72,88	9,62	0,74	0,07
1285,12	72,75	9,69	0,78	0,07
1301,46	72,69	9,69	0,76	0,07
1320,24	72,69	9,62	0,93	0,08
1250,25	72,62	9,62	0,61	0,06
1383,66	72,38	9,62	0,80	0,07
1301,56	72,31	9,62	0,86	0,08
1252,48	72,19	9,56	0,78	0,07
1330,14	72,25	9,56	0,82	0,07
1331,33	71,94	9,56	0,71	0,06
1101,45	71,62	9,50	0,83	0,08
1748,18	71,25	9,50	0,84	0,08
1674,24	70,88	9,62	0,64	0,06
1675,08	70,88	9,62	0,62	0,06
1753,66	70,62	9,75	0,78	0,07
1886,85	70,56	9,75	0,90	0,08
1142,94	70,44	9,81	0,78	0,07
1462,99	69,88	9,94	0,52	0,05
1106,38	69,62	10,00	0,61	0,06
1000,63	69,38	10,06	0,46	0,04
1263,61	67,50	9,62	0,78	0,07
1352,81	67,38	9,50	0,68	0,06
1308,11	67,38	9,44	0,99	0,09
1208,78	67,38	9,38	0,81	0,07
1215,27	67,31	9,38	0,73	0,07
1181,97	67,31	9,25	0,82	0,07
1100,80	67,25	9,25	0,98	0,09
1235,40	67,06	9,12	0,99	0,09
1507,71	67,00	9,12	0,76	0,07
1385,35	67,00	9,12	0,80	0,07
1464,25	66,88	9,06	0,89	0,08
1606,24	66,81	9,06	0,98	0,09
1353,90	66,81	9,00	0,89	0,08
1401,40	66,56	9,00	1,02	0,09
1301,99	66,62	9,00	0,95	0,09

**GENERACIÓN DE REPORTE DE DATOS CON FLEXINOL**

**DATOS ENTRADA**

<b>REVOLUCIONES [rpm]</b>	<b>TEMPERATURA 1 [°C]</b>	<b>TEMPERATURA 2 [°C]</b>	<b>VOLTAJE [V]</b>	<b>AMPERAJE [A]</b>
1661,08	66,38	9,00	1,06	0,10
1433,90	66,19	8,94	0,62	0,06
2092,06	66,75	8,88	1,20	0,11
1553,11	67,25	8,88	1,00	0,09
1586,73	67,25	8,88	1,00	0,09
1582,67	67,62	8,88	1,11	0,10
1476,16	67,69	8,88	1,19	0,11
1391,75	67,81	8,94	0,88	0,08
1092,84	67,75	8,88	0,60	0,05
1438,45	67,94	8,94	0,97	0,09
1533,39	68,12	9,00	0,77	0,07
1343,15	68,06	9,00	0,93	0,08
1238,53	68,12	9,06	0,92	0,08
1411,18	68,12	9,06	1,05	0,10
1214,79	68,12	9,06	0,86	0,08
1196,52	68,06	9,12	0,75	0,07
1342,28	67,94	9,12	1,04	0,09
1242,75	67,94	9,19	0,66	0,06
1356,72	67,88	9,19	0,95	0,09
1362,82	67,81	9,19	0,96	0,09
1633,28	67,62	9,25	0,94	0,09
1547,10	67,62	9,25	0,82	0,07
1334,14	67,50	9,25	0,97	0,09
1374,74	67,19	9,31	0,92	0,08
1295,92	67,12	9,31	0,93	0,08
1169,35	66,81	9,31	0,92	0,08
1124,75	66,88	9,31	0,74	0,07
1614,65	65,81	9,31	0,67	0,06
1400,85	65,69	9,25	0,74	0,07
1091,65	65,62	9,25	0,16	0,01
1081,70	65,56	9,19	0,46	0,04
1759,59	65,50	9,12	0,87	0,08
1514,70	65,56	9,06	0,74	0,07
1482,34	65,56	9,06	0,79	0,07
1227,28	65,62	9,06	0,93	0,08
1207,47	65,75	9,00	0,77	0,07
1160,25	65,69	9,00	0,59	0,05
1730,23	65,88	8,94	0,74	0,07

**GENERACIÓN DE REPORTE DE DATOS CON FLEXINOL**

**DATOS ENTRADA**

<b>REVOLUCIONES [rpm]</b>	<b>TEMPERATURA 1 [°C]</b>	<b>TEMPERATURA 2 [°C]</b>	<b>VOLTAJE [V]</b>	<b>AMPERAJE [A]</b>
1572,88	65,94	8,94	1,03	0,09
1434,44	66,00	8,88	1,05	0,10
1569,74	66,12	8,88	1,00	0,09
1436,72	66,44	8,88	0,89	0,08
1464,84	66,62	8,88	0,88	0,08
1459,66	66,81	8,88	0,88	0,08
1400,54	67,12	8,88	1,09	0,10
1462,67	67,44	8,81	0,97	0,09
1444,62	67,50	8,81	0,99	0,09
1421,38	67,69	8,81	0,88	0,08
1351,98	67,56	8,88	0,59	0,05
1322,18	67,75	8,88	0,81	0,07
1325,65	67,81	8,81	0,85	0,08
1231,22	68,00	8,81	0,92	0,08
1050,48	68,62	8,75	0,79	0,07
1139,12	67,50	8,75	0,74	0,07
1448,99	67,44	8,75	0,84	0,08
1317,20	67,38	8,81	0,81	0,07
1258,95	67,31	8,81	0,90	0,08
1064,52	67,06	8,88	0,84	0,08
1106,96	67,19	8,88	0,87	0,08
1308,88	66,81	8,94	0,72	0,07
1221,89	66,75	8,94	0,65	0,06
1284,60	66,62	8,94	0,80	0,07
1219,23	66,44	9,00	0,73	0,07
1332,03	66,50	9,00	0,86	0,08
1071,58	66,12	9,06	0,17	0,02
1213,27	66,06	9,06	0,47	0,04
1628,64	65,62	9,12	0,93	0,08
1315,41	65,56	9,12	0,52	0,05
1638,45	65,50	9,25	0,17	0,02
1135,06	65,44	9,31	0,48	0,04
1223,79	65,38	9,38	0,95	0,09
1592,41	65,38	9,44	0,81	0,07
1364,66	65,38	9,44	0,83	0,08
1265,11	65,38	9,50	0,69	0,06
1465,28	65,44	9,50	0,85	0,08
1327,73	65,56	9,56	0,78	0,07

GENERACIÓN DE REPORTE DE DATOS CON FLEXINOL				
DATOS ENTRADA				
REVOLUCIONES [rpm]	TEMPERATURA 1 [°C]	TEMPERATURA 2 [°C]	VOLTAJE [V]	AMPERAJE [A]
1292,86	65,62	9,56	0,83	0,08
1264,13	65,94	9,75	0,93	0,08
1321,84	66,00	9,81	0,66	0,06
1264,81	66,06	9,81	0,72	0,07
1409,07	66,19	9,94	0,87	0,08
1439,07	66,50	10,00	0,74	0,07
1375,38	67,00	10,12	0,87	0,08
1210,13	67,50	10,25	0,85	0,08
1257,05	67,75	10,25	0,81	0,07
1265,80	68,00	10,31	0,82	0,08
1253,92	68,25	10,31	0,78	0,06
1372,62	68,50	10,38	0,79	0,09
1208,88	68,75	10,44	0,78	0,09
1397,81	68,94	10,44	0,74	0,07
1233,59	69,44	10,50	0,79	0,08
1392,77	69,31	10,50	0,85	0,09
1276,97	69,62	10,56	0,88	0,09
1233,40	69,69	10,62	0,65	0,06
1145,88	69,81	10,69	0,64	0,06
1250,39	69,81	10,69	0,66	0,06
1555,46	69,81	10,75	0,84	0,08
1304,48	69,81	10,75	0,71	0,06
1249,35	69,88	10,12	0,88	0,08
1043,50	69,94	10,94	0,70	0,06
1152,87	69,94	10,94	0,60	0,05
1808,31	69,94	11,00	0,88	0,08
1322,89	69,88	11,06	0,74	0,07
1248,78	69,81	11,06	0,82	0,07
1198,26	69,69	11,12	0,78	0,07
1295,76	69,62	11,12	0,80	0,07
1157,05	69,50	11,19	0,54	0,05
1063,41	69,44	11,19	0,63	0,06
1544,54	69,31	11,19	0,84	0,08
1376,31	69,25	11,25	0,99	0,09
1243,44	69,12	11,25	0,90	0,08
1034,31	69,00	11,25	0,56	0,05
1169,65	68,69	11,25	0,16	0,01

**Nota.-** Temperatura 1= Temperatura agua caliente; Temperatura 2 = Temperatura agua con hielo