

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TERMOPAR SPIDER PARA EL
CONTROL DE FLUCTUACIONES DE TEMPERATURA AMBIENTE EN LA ZONA DE
EXTENDERÍA DE LA EMPRESA VIDRIO ANDINO

ALBERT ALEXIS RONCANCIO OSPINA

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

BOGOTA

2019

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TERMOPAR SPIDER PARA EL
CONTROL DE FLUCTUACIONES DE TEMPERATURA AMBIENTE EN LA ZONA DE
EXTENDERÍA DE LA EMPRESA VIDRIO ANDINO

ALBERT ALEXIS RONCANCIO OSPINA

TRABAJO DE GRADO

Director de Proyecto
NÉSTOR JAVIER RODRÍGUEZ
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

BOGOTA

2019

Nota de aceptación:

Jurado

Jurado

Bogotá D.C 29 abril 2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por ponerme siempre en el camino correcto, luego a Nelly Hernández mi esposa quien siempre estuvo animándome y reconfortándome en todas las etapas de mi carrera.

También quiero agradecer al ingeniero Andrés Granados el supervisor técnico del área Flotado y Extendería por el apoyo que me brindo para instalar el prototipo en su área.

Agradezco especialmente al profesor Néstor Javier Rodríguez por su apoyo incansable y guía constante durante la implementación del proyecto.

RESUMEN

Los objetivos fundamentales del proyecto consisten en diseñar y luego implementar un prototipo de termopar multipunto con el fin de controlar las fluctuaciones de temperatura en el ambiente dentro de una fábrica de vidrio en una zona llamada extendería.

La metodología aplicada al proyecto condujo a obtener un prototipo de prueba el cual colaboro en gran medida en la construcción del modelo final, que de acuerdo al aspecto se nombró como "Termopar Spider".

Este termopar se podrá armar con cualquier tipo de juntura termoeléctrica conocida, el cual adquiere de manera intrínseca el amplio rango de trabajo de los termopares que van desde los -200°C hasta los 3000°C .

Con la obtención de este modelo se espera caracterizar la temperatura ambiente dentro de la extendería, la cual servirá para establecer un lazo de control que maneje el ingreso y la salida de aire en esta zona, contribuyendo a disminuir las pérdidas de vidrio que se presentan a esta altura del proceso.

LISTA DE IMÁGENES

<i>Imagen 1. Cadena de proceso</i>	11
<i>Imagen 2. Zona cerrada</i>	12
<i>Imagen 3. Zona abierta</i>	12
<i>Imagen 4. Entradas de aire hacia las zonas</i>	13
<i>Imagen 5. Diagrama visión general de la extendería</i>	13
<i>Imagen 6. Efecto Seebeck</i>	18
<i>Imagen 7. Efecto Peltier</i>	19
<i>Imagen 8. Efecto Thomson</i>	19
<i>Imagen 9. Curvas características de las f.e.m</i>	22
<i>Imagen 10. Estilo de las juntas</i>	24
<i>Imagen 11. Termopares en serie</i>	25
<i>Imagen 12. Termopares en paralelo</i>	26
<i>Imagen 13. Diagrama de proceso diseño de ingeniería</i>	27
<i>Imagen 14. Robot araña cuadrúpeda</i>	33
<i>Imagen 15. Diseño prototipo de termopar spider</i>	34
<i>Imagen 16. Distribución de puntos de sensibilidad</i>	34
<i>Imagen 17. Implementando modulo amplificador</i>	35
<i>Imagen 18. Conexión a la placa de Arduino</i>	35
<i>Imagen 19. Conexión de los servos</i>	36
<i>Imagen 20. Robot proyectado sobre base</i>	36
<i>Imagen 21. Ensamble de prototipo</i>	37
<i>Imagen 22. Robot sobre base</i>	37
<i>Imagen 23. Diseño del termopar Spider</i>	38
<i>Imagen 24. Códigos de color según normas ANSI e IEC</i>	39
<i>Imagen 25. Tolerancias normas IEC</i>	39
<i>Imagen 26. Modelo Fabricado del termopar Spider</i>	40
<i>Imagen 27. Face Plate</i>	41
<i>Imagen 28. Asignación de canal</i>	41
<i>Imagen 29. Barra Graf de la compuerta</i>	42
<i>Imagen 30. Bloque PID</i>	42
<i>Imagen 31. Tendencia del sistema</i>	43
<i>Imagen 32. Grafica de caracterización</i>	46
<i>Imagen 33. Respuesta del sistema ante una entrada en escalón</i>	47

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Instrumentos y métodos de medición</i>	17
<i>Tabla 2. Matriz de selección para el tipo de instrumento.....</i>	31
<i>Tabla 3. Matriz de selección para el escenario.....</i>	31
<i>Tabla 4. Matriz de selección para las entradas de control.....</i>	32
<i>Tabla 5. Matriz de selección para la restricción por temperatura</i>	32
<i>Tabla 6. Caracterización de las juntas</i>	45

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO I.....	10
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 Descripción del problema	10
1.2 Formulación.....	14
2 JUSTIFICACIÓN	15
3 OBJETIVOS.....	16
3.1 General.....	16
3.2 Específicos	16
CAPITULO II.....	17
4 MARCO TEÓRICO	17
4.1 Fundamentos de los termopares	18
4.1.1 Leyes de los termopares.....	20
5 MARCO REFERENCIAL.....	21
5.1 ESTADO DE ARTE	21
5.1.1 Tipos de escala.....	21
5.1.2 Tipos de junta	22
5.1.3 Tipos de estilo.....	24
5.1.4 Conexión de termopares.....	25
CAPITULO III.....	27
6 MARCO METODOLÓGICO	27
6.1 Definición del problema	28
6.2 Especificar los requerimientos.....	28
6.3 Generar soluciones alternativas	28
6.4 Evaluar alternativas	30
6.5 Decidir sobre una solución	33
6.6 Realizar el prototipo.....	33

6.6.1	Diseño de un prototipo de prueba.....	33
6.6.2	Ensamble del prototipo de prueba.....	37
6.6.3	Diseño del termopar Spider.....	38
6.6.4	Fabricación del termopar Spider.....	38
6.6.5	Adaptación al proceso productivo.....	40
CAPITULO IV.....		44
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
7.1	Análisis de datos Prototipo de prueba.....	45
7.2	Análisis de datos Termopar Spider.....	47
8	CONCLUSIONES.....	48
9	RECOMENDACIONES.....	49
ANEXOS.....		50
	Referencia de las f.e.m para juntas tipo K.....	50
	Sketch Arduino para exportar a formato Excel.....	54
	Sketch Arduino programación del robot araña.....	55
	Logotipo del termopar.....	60
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas con el desarrollo las tecnologías de la información y las comunicaciones se han producido grandes transformaciones en la forma de plantear, elaborar y ejecutar proyectos, disminuyendo significativamente las dificultades para desarrollarlos. Algunos años atrás los escenarios se tornaban más complejos para plantear y el desarrollar proyectos, ya que tardaban mucho tiempo en realizarse, provocando que no se cumplieran las metas trazadas por los investigadores.

Hoy en día el panorama es distinto, porque se pueden plantear y desarrollar proyectos en cuestión de días sin tener la necesidad de recurrir a los protocolos convencionales que de una manera u otra dificultaban la transformación del proyecto y con ella su trascendencia.

El enfoque técnico de este proyecto se puede dividir en tres partes, la primera parte consiste en establecer un diseño técnico de un termopar, la segunda parte consiste en fabricar el termopar diseñado y la tercera parte consiste en adaptar el termopar al proceso productivo. Todo este enfoque técnico fue respaldado con postulados teóricos demostrables, obtenidos en varias fuentes de la información de fácil acceso, todas ellas son producto del buen panorama de la información que se encuentra actualmente.

CAPITULO I

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En muchos procesos productivos se requiere establecer medición de temperatura, cuyos métodos de medición empleados son los de contacto, los de no contacto, o los métodos especiales, donde su función la puede definir la misma naturaleza del proceso, implementando el tipo de instrumentación requerida para ejercer control del mismo.

Al citar argumentos teóricos que nos enfoquen sobre la medición de temperatura se trae a relación lo siguiente “La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales, donde las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión” (Creus Sole, 1997, p. 223) De acuerdo a nuestro entorno la medición de temperatura es muy importante porque desde la fusión de los componentes del vidrio en el horno hasta la entrega del producto terminado cuando es apilado por los robots, se requieren establecer controles precisos de la temperatura, empleando los tres métodos inicialmente nombrados.

Aunque para el proceso de fabricación de láminas de vidrio flotado se requieren más de diez subprocesos y un manejo riguroso de recetas de producción se va a describir de manera general el funcionamiento de las cinco áreas de conformación del producto para que el lector obtenga un mejor enfoque del entorno donde se desarrolló el proyecto.

- Composición: esta área se encarga de recibir y luego de mezclar las materias primas que van hacia el horno.
- Horno: en esta área se funden los diferentes componentes del vidrio, luego los homogeniza y los envía hacia flotado.
- Flotado: recibe La materia prima del horno, la flota sobre estaño fundido y encarrila la hoja conformada hacia la extendería.
- Extendería: esta área Homogeniza la hoja de vidrio, primero extrayéndole calor, luego ventilándola después recociéndola.

- Línea de corte: en esta área se cortan las láminas de vidrio a lo ancho y lo largo dependiendo la longitud requerida, luego es apilada por los robots

En el siguiente esquema se ilustra el orden de las áreas que intervienen en la conformación del producto resaltando el área de la extendería que es precisamente donde se surgió la idea de desarrollar el proyecto.

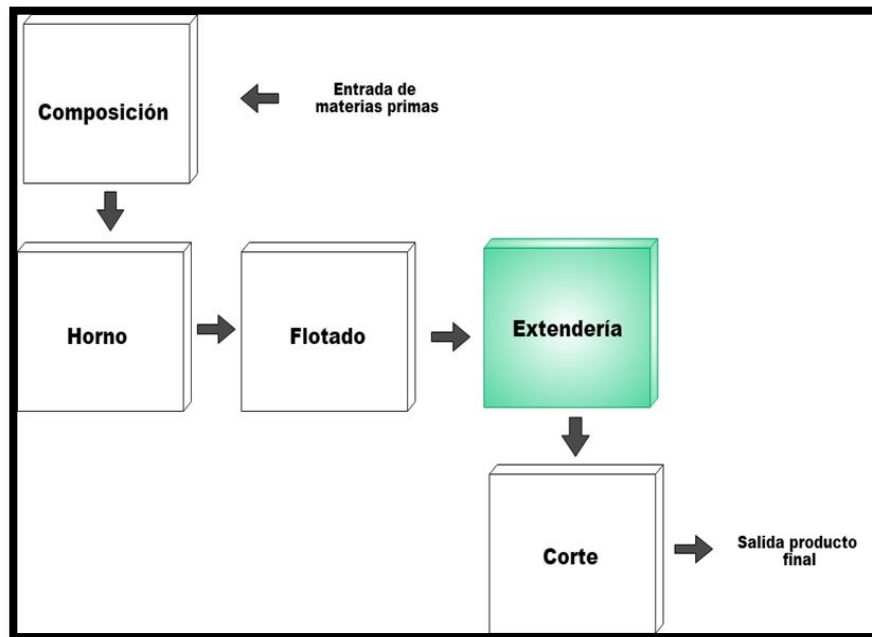


Imagen 1. Cadena de proceso
Fuente: Autor

En el área de la extendería se necesita realizar una homogenización de las temperaturas del producto por lo que se requiere mantener una atmosfera interna con consignas de temperatura que pueden variar de acuerdo al espesor del producto. Debido que a esta altura del proceso la hoja de vidrio proviene del área de flotado con varias diferencias de temperatura se requiere realizar extracción y ventilación controlada de calor a lo largo y ancho del mismo.

Esta área se encuentra subdividida en varias zonas que se pueden clasificar en zonas abiertas y cerradas.

En las zonas cerradas se realiza extracción de calor por medio de seis válvulas proporcionales, cinco se encargan de ventilar y extraer calor de la cara superior y una válvula se encarga de la cara inferior de la hoja de vidrio. Las entradas de estas válvulas se encuentran interconectadas con sus respectivas rejillas las cuales poseen una longitud aproximada de 4.60 metros, donde las corrientes de aire internas las genera un motor que gira a una velocidad constante.



Imagen 2. Zona cerrada

Fuente: Zona extendería planta de vidrio flotado

En las zonas abiertas se realiza ventilación del producto por intermedio de un panel conformado por una válvula proporcional, aquí también las corrientes de aire internas las genera un motor que gira a una velocidad constante.



Imagen 3. Zona abierta

Fuente: Zona extendería planta de vidrio flotado

En cuanto a la entrada del aire ambiente se realiza a través de apertura o cierre manual de una compuerta móvil ubicada en la cubierta

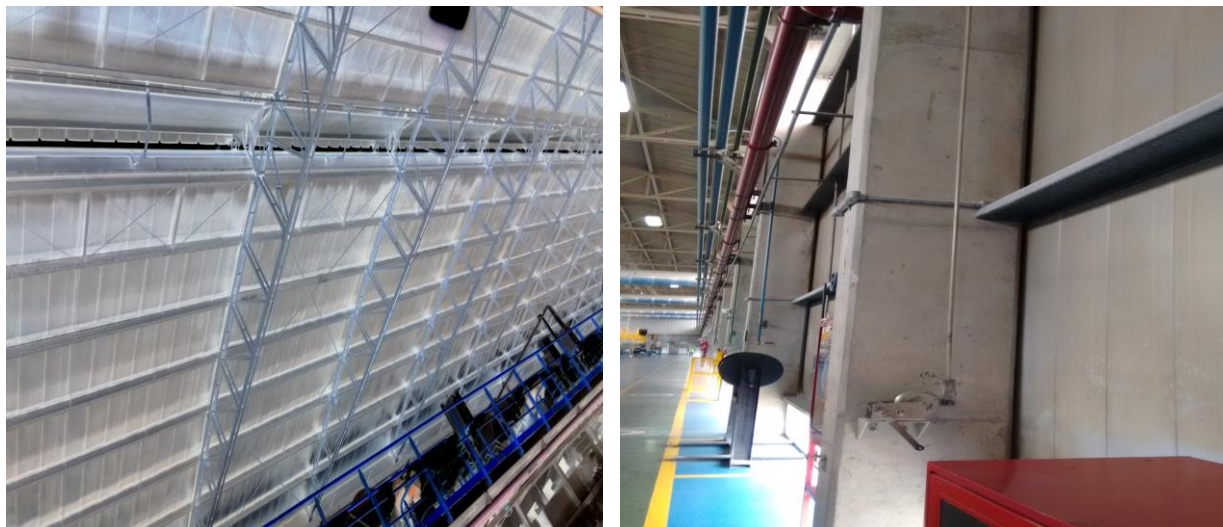


Imagen 4. Entradas de aire hacia las zonas
Fuente: Zona Extendería Planta de Vidrio

Ya entrando en materia de control de las zonas se puede apreciar una imagen de la visión general en la extendería, aquí se observan los lazos de control existentes los cuales constan todos de una válvula un punto de ajuste y el valor de temperatura que es censada por un termopar.

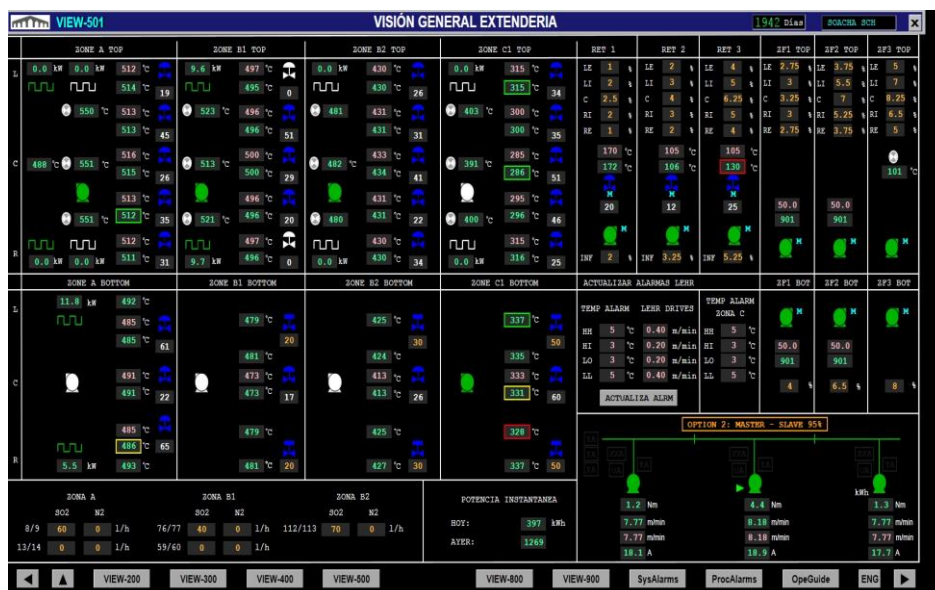


Imagen 5. Diagrama visión general de la extendería
Fuente: Sistema de Control Distribuido Yokogawa

1.2 Formulación

Debido a que la planta se encuentra ubicada al lado de un bosque húmedo con frecuencia caen nubes espesas de niebla que ocasionan cambios repentinos de humedad relativa en más de un 40% y en la temperatura ambiente en más de 28°C, siendo el área de la extendería la que más se ve afectada por esta variación. Puesto que el sistema de control distribuido mantiene un monitoreo constante sobre la temperatura en todas las zonas de la extendería, posee una limitante con las entradas de control analógicas y de termopares las cuales condicionan la implementación de la solución que se vaya a aplicar.

Por lo tanto se puede afirmar lo siguiente:

“El problema surge cuando se presentan cambios de temperatura ambiente, ya que se producen variaciones de temperatura a lo largo de la rejillas de succión y de ventilación, ocasionando entradas de aire frías que desencadenan en rupturas espontaneas del producto”.

A pesar de que esta zona cuenta con varios lazos que controlan la temperatura interna de la atmosfera realizadas por intermedio de apertura o cierre de válvulas proporcionales, surge el interrogante.

¿Cómo diseñar e implementar un sistema termopar multipunto que permita el control de fluctuaciones de temperatura ambiente en la zona de extendería para la empresa Vidrio Andino?

2 JUSTIFICACIÓN

Al lograr identificar la necesidad formulada en el planteamiento se observa que se necesita establecer un nuevo control de temperatura porque se identificaron variables que afectaban la conformación del producto a lo largo y ancho del mismo. Esta necesidad se identifica en la zona de la extendería en donde la naturaleza del proceso exige que esta área se prolongue en más de 200 metros, para lograr realizar un descenso controlado de temperatura, de acuerdo a estas necesidades se empezaron a postular soluciones alternativas que implican realizar adaptaciones de transmisores de temperatura o de humedad, también se pensaron en utilizar termómetros infrarrojos o cámaras termo gráficas pero debido a la prolongación del área implicaba tener que adaptar por lo menos cuatro instrumentos que elevan los costos y generan sobrecarga de señales para el sistema de control.

Surge entonces la necesidad de utilizar un instrumento que no sobrecargue el sistema de control distribuido y que a su vez caracterice el área de su entorno, por lo tanto emergió la idea de utilizar instrumentos que sensaran varios puntos de temperatura para lograr controlarla.

Al indagar en diferentes artículos y páginas web de distintos fabricantes sobre la fabricación y usos de termopares multipunto se encuentra que no son de uso común y tienen aplicaciones específicas limitadas para reactores de procesos químicos, petroquímicos o en tanques de combustible (WIKA, 2019).

Aunque la utilización de estos termopares mantiene la idea de sensar varios puntos el diseño conduce a utilizar juntas separadas que conllevan a tener que emplear múltiples entradas al sistema de control, volviéndose relevante para el proyecto establecer un diseño técnico del termopar que posea varios puntos de sensibilidad y que emplee pocas entradas al sistema de control.

Finalmente, al llevar a cabo este proyecto se logrará obtener el diseño técnico de un termopar múltiple que se puede ser ensamblado con cualquiera de las juntas termoeléctricas conocidas y cuyo rango permitirá trabajar con temperaturas entre -200°C y los 3000°C , cubriendo un vacío con el uso de termopares multipunto en aplicaciones de caracterización de temperatura. Este diseño conducirá a la obtención un prototipo de termopar que controlará las variaciones de temperatura en el área de la extendería. Este modelo de termopar también se podrá usar en aplicaciones con robots autónomos que requieran buscar trayectorias seguras o bien que reaccionen de la forma tal a las perturbaciones generadas en cualquiera de sus puntos de sensibilidad.

3 OBJETIVOS

3.1 General

- Implementar un sistema que permita controlar las fluctuaciones de temperatura ambiente en la zona de la extendería.

3.2 Específicos

- Identificar las variables que afectan el proceso, estableciendo cuales actúan directamente en la conformación de la hoja de vidrio.
- Plantear alternativas de solución buscando disminuir el impacto de las variables que afectan la conformación del producto.
- Seleccionar las alternativas mejor perfiladas, aplicando los criterios de selección concernientes a los requerimientos.
- Construir un prototipo de la alternativa escogida, facilitando los registros de las mediciones y la posterior evaluación de los resultados.

CAPITULO II

4 MARCO TEÓRICO

Se puede definir la temperatura como una magnitud que permite expresar el grado de calor o frío de algún cuerpo, cuyos instrumentos y métodos de medición más utilizados se pueden resumir de la siguiente forma:

TIPO DE INSTRUMENTO	RANGO (°C)
DE CONTACTO	
1. De dilatación	
a) de vidrio-líquido	
si el líquido (metálico : mercurio) no moja el vidrio	(-58) -38 ... 630 (1000)
si el líquido (orgánico : alcohol) moja el vidrio	200 ... 210
b) líquido-elemento elástico	-35 ... 500
c) presión de vapor-elemento elástico	(-200) -50 ... 350 (700)
d) dilatación de una varilla	0 ... 1000
e) bimetálicos	-50 ... 400
2. Eléctricos	
a) Termopares	-200 ... 3000
b) Termo-resistencias	(-250) -200 ... 1000
c) Circuito – integrado (estado sólido)	-55 ... 150
DE NO CONTACTO	
1. Pirómetros	
a) de cuadrante	200...1500
b) de resistencia	400...1500
c) termoeléctrico	500...1600
d) ópticos	
a) de densidad espectral	-40 ... 3500
b) comparación de colores	700 ... 2200
DE METODO ESPECIAL	
a) puntos de fusión (pastillas, crayolas, lacas, gránulos)	30 ... 1400
b) cambio de color en rótulos con tinta	40 ... 1350
c) conos/ lunetas piro métricas (cerámica)	600 ... 1000
d) cristales líquidos	20 ... 135

*Tabla 1. Instrumentos y métodos de medición
Fuente: Autor*

Se puede observar que dentro de los instrumentos de contacto con el método eléctrico se encuentran los termopares en un rango bastante amplio, que van desde los $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los 3000°C aproximadamente. También se observa que el pirómetro de densidad espectral es el instrumento que mayor rango de medición abarca de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 3500°C aproximadamente, siendo el instrumento de mayor alcance en la actualidad.

Los métodos de medición por contacto son los que más se asemejan a la realidad porque están en contacto permanente con el medio y son los que menos incertidumbre generan al momento de establecer mediciones.

4.1 Fundamentos de los termopares

A lo largo de la historia se han descubierto tres fenómenos físicos que rigen el comportamiento de los termopares, el primero es el efecto termoeléctrico o efecto Seebeck¹, el cual plantea que existe una circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuando la unión de estos se encuentra expuesta a una diferencia de temperatura.

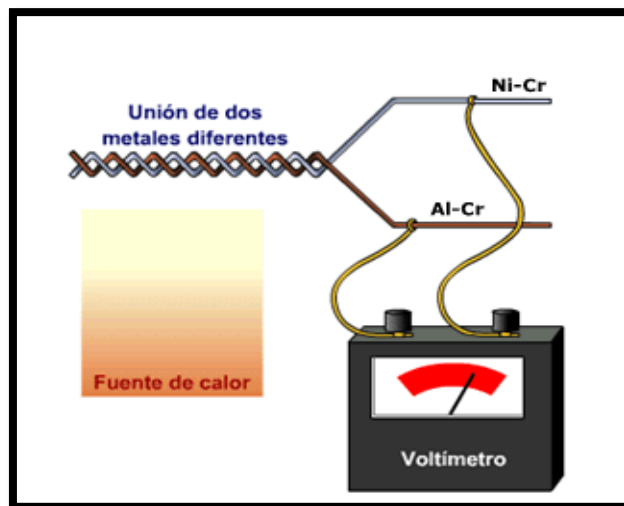


Imagen 6. Efecto Seebeck
Fuente: Feria De Las Ciencias Unam

¹ **Thomas J. Seebeck** descubrió que en un circuito formado por dos metales distintos homogéneos, A y B, con dos uniones a diferente temperatura, T y $T+\Delta T$, se establece un flujo de corriente eléctrica J , o bien, si se abre el circuito una fuerza termo electromotriz (f.e.m.) E_{AB} que depende de los metales utilizados en la unión y de la diferencia de temperatura entre las dos uniones

El segundo es el efecto Peltier² que en términos generales es el efecto inverso de Seebeck, se presenta cuando se genera frío o calor a través de dos uniones cuando se aplica una corriente que dependiendo el sentido de flujo determina cual unión se enfría y cual unión se calienta

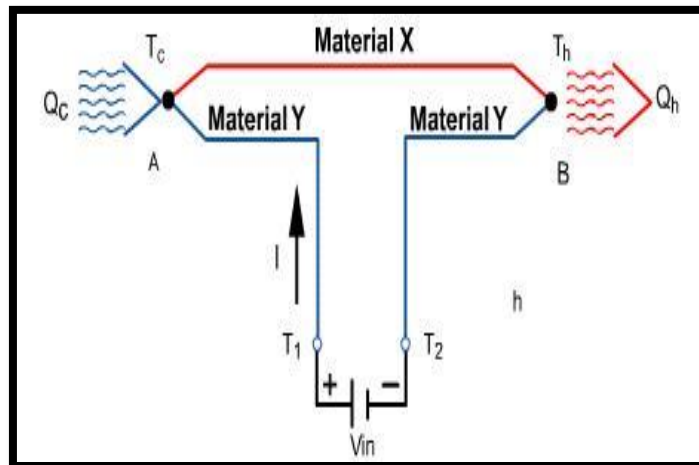


Imagen 7. Efecto Peltier
Fuente: monografias.com

Y el tercer fenómeno es el efecto Thomson³, el cual se presenta cuando hay calentamiento o enfriamiento de un conductor homogéneo por donde existe un flujo de corriente, estableciendo una diferencia de temperatura en dicho conductor.

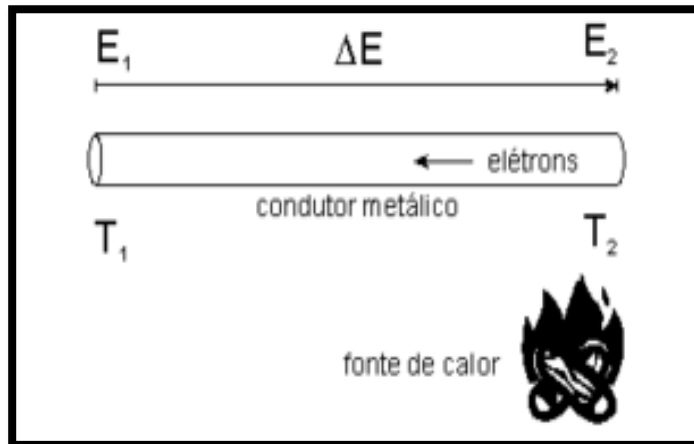


Imagen 8. Efecto Thomson
Fuente: wikipedia.org

² **El efecto Peltier** fue descubierto en el año 1834 por el físico francés Peltier J. C. A. Surgió sobre la base del descubrimiento del físico alemán Seebeck T. J. en 1821 consiste en hacer pasar una corriente procedente de una fuente de energía, a través de un circuito formado por dos conductores de distinta naturaleza, obteniéndose que una de sus uniones absorbe calor y la otra lo cede

³ **El efecto Thomson** fue predicho y luego observado experimentalmente por William Thomson (Lord Kelvin) en 1851. Describe el calentamiento o enfriamiento de un conductor portador de corriente con un gradiente de temperatura.

4.1.1 Leyes de los termopares

De acuerdo a investigaciones sobre el comportamiento de los termopares se han logrado establecer tres leyes básicas, así como lo especifica (Creus Sole, 1997, p. 237 - 238) en el libro de instrumentación industrial de la siguiente manera;

4.1.1.1 Ley del circuito homogéneo.

Se presenta cuando un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.

4.1.1.2 Ley de los metales intermedios.

Se presenta si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.

4.1.1.3 Ley de las temperaturas sucesivas

Se presenta cuando la f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T_1 y T_3 es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T_1 y T_2 Y de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T_2 y T_3

Estos postulados confirman que un metal al ser expuesto a un cambio de temperatura por sí solo no va a generar una fuerza electromotriz f.e.m, porque se necesita mínimo de dos metales para lograr este efecto. También vale la pena resaltar que a nivel de control y medición en cualquier sistema no es bueno utilizar hilos conductores intermedios o utilizar terminales de pin de otro material en las bornes de conexión y cabezotes de los termopares ya que el efecto producido será obtener mediciones erróneas y con mucha incertidumbre.

5 MARCO REFERENCIAL

5.1 ESTADO DE ARTE

5.1.1 Tipos de escala

5.1.1.1 Kelvin

Esta escala es la base del Sistema Internacional de Unidades (SI) para la medición de la temperatura cuya unidad básica es el Kelvin (°K), La escala termodinámica de temperatura queda fijada por el punto cero o absoluto de la termodinámica, $T = 0$ K, y el punto triple del agua.

$$T_{tr} = 273,16 \text{ K.}$$

5.1.1.2 Celsius

La escala Celsius en términos generales es la misma Kevin sólo que cambia por la posición de su punto cero, la unidad básica es el Celsius (°C), La relación numérica de una temperatura en la escala termodinámica de temperatura (T) y en la escala Celsius de temperatura (t) se puede determinar de la siguiente forma:

$$T = t + 273,15$$

5.1.1.3 Fahrenheit

En varios países aún se utiliza la escala Fahrenheit, la unidad básica es el Fahrenheit (°F), con los valores numéricos de las temperaturas en la escala Celsius (Tc) y los valores de las temperaturas en la escala Fahrenheit (TF), se pueden establecer las siguientes relaciones:

$$T_F = 1,8. T_C + 32$$

5.1.2 Tipos de junta

Para la fabricación de los termopares se emplean diferentes tipos de materiales que cambian de acuerdo al rango de medición y al tipo de proceso al que va a ser sometido

Es conveniente aclarar que cada tipo de junta produce una fuerza electromotriz (f.e.m) distinta, cuyas características las definirá el material y el valor de temperatura a la que se encuentre expuesta, en donde los valores de las f.e.m se encuentran referidos a las tablas IPTS₄ utilizadas para caracterizarlas de acuerdo al tipo de junta y el valor de temperatura a la que se encuentre expuesta

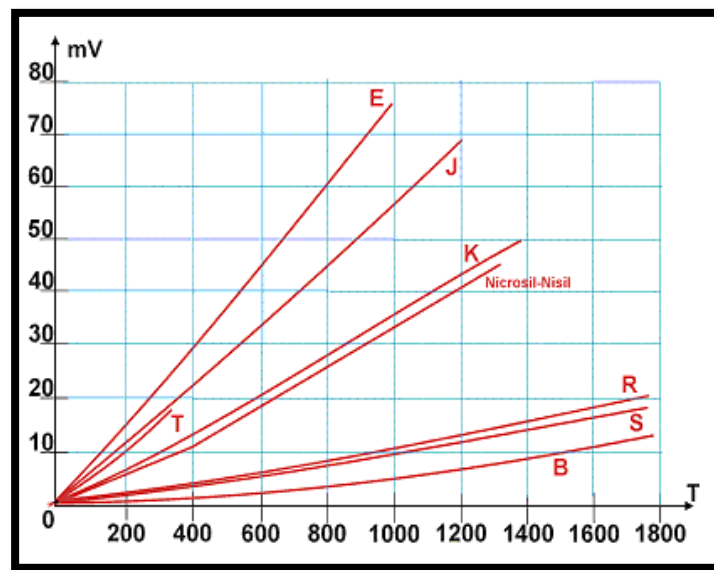


Imagen 9. Curvas características de las f.e.m
Fuente: Termopares.com.br

5.1.2.1 Características de la junta tipo T:

Conductor positivo: Cu

Conductor negativo: CuNi (55% Cu, 45% Ni)

Rango: -250 °C...400 °C

⁴ IPTS, En la actualidad está vigente la Escala Práctica Internacional de Temperatura de 1990 (IPTS-90), que fue adoptada por la 15 Conferencia General de Pesas y Medidas. La IPTS-90 se define de modo que un valor de temperatura que se mida con ella se acerque, con la mayor exactitud posible, a la temperatura termodinámica. A esta escala están referidas todas las mediciones de temperatura en la práctica, siempre y cuando los termómetros que se utilicen hayan sido calibrados respecto a patrones de esta escala.

5.1.2.2 Características de la junta tipo E:

Conductor positivo: NiCr (90% Ni, 10% Cr)
Conductor negativo: CuNi (55% Cu, 45% Ni)
Rango: -270 °C...800 °C

5.1.2.3 Características de la junta tipo J:

Conductor positivo: Fe
Conductor negativo: CuNi (55% Cu, 45% Ni)
Rango: 0 °C...750°C

5.1.2.4 Características de la junta tipo K:

Conductor positivo: NiCr (90% Ni, 10% Cr)
Conductor negativo: NiAl (95% Ni, 2% Al, 2% Mn, 1% Si)
Rango: -200 °C...1200 °C

5.1.2.5 Características de la junta tipo S:

Conductor positivo: Pt10Rh (90% Pt, 10% Rh)
Conductor negativo: Pt
Rango: -40 °C...1500 °C

5.1.2.6 Características de la junta tipo R:

Conductor positivo: Pt13Rh (87% Pt, 13% Rh)
Conductor negativo: Pt
Rango: 0°C...1550 °C

5.1.2.7 Características de la junta tipo B:

Conductor positivo: Pt30Rh (70% Pt, 30% Rh)
Conductor negativo: Pt 6Rh (94% Pt, 6% Rh)
Rango: 100 °C...1800 °C

5.1.3 Tipos de estilo

Los termopares se pueden encontrar en tres tipos de estilo:

5.1.3.1 Con la junta expuesta:

Es utilizado para medir la temperatura de un gas no corrosivo, el cual puede estar estático o en movimiento, donde la junta sobresale más allá de la funda metálica protectora para dar una respuesta más rápida. Normalmente la funda protectora se sella, donde la unión se extiende con el fin de prevenir la penetración de la humedad.

5.1.3.2 Con la junta protegida no aterrizada:

Es utilizado para realizar mediciones en ambientes corrosivos donde se necesita tener el termopar eléctricamente aislado y blindado por la funda. La junta del termopar se encuentra físicamente aislada de la funda, normalmente se hace con mineral de óxido de magnesio (MgO) fino.

5.1.3.3 Con la junta protegida aterrizada:

Es utilizado para realizar mediciones en líquidos y gases corrosivos que pueden encontrasen estáticos o en movimiento y para aplicación de altas presiones, donde la junta del termopar está soldada a la funda protectora dando una respuesta mucha más rápida que el termopar no aterrizado.

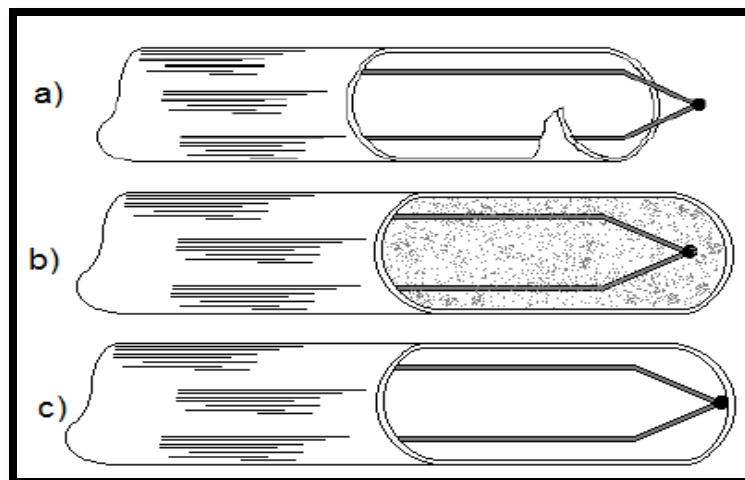


Imagen 10. Estilo de las juntas
Fuente: *Termometría General Thermometric*

5.1.4 Conexión de termopares

5.1.4.1 En Serie

Este tipo de conexión en serie se usa esencialmente como medio para aumentar la sensibilidad, típicamente es llamado pila termoeléctrica, cuya salida de la f.e.m generada corresponde a la suma de todas las f.e.m de los termopares individuales, aplicándose algebraicamente de la siguiente forma:

$$Fem_m = Fem_1 + Fem_2 + Fem_3$$

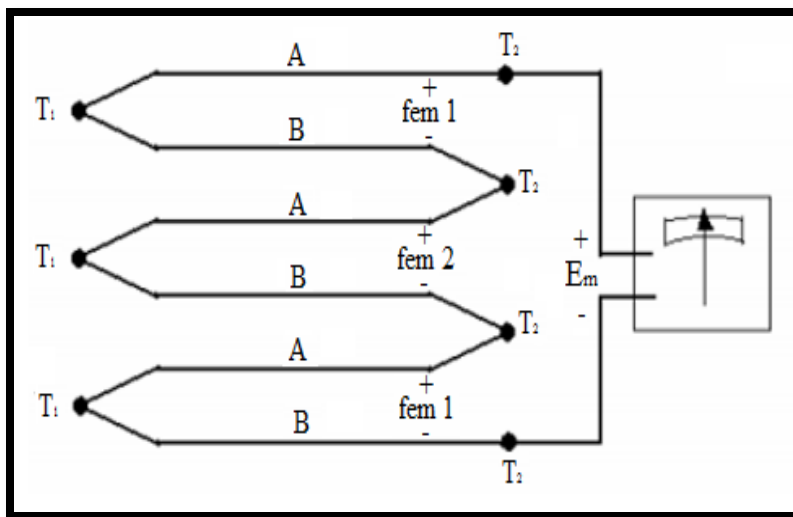


Imagen 11. Termopares en serie
Fuente: instrumentacionuc.wixsite.com

5.1.4.2 En Paralelo

Esta forma de conexión puede ser utilizada para medir temperaturas en longitudes y áreas grandes, donde el comportamiento matemático está definido de la siguiente forma:

“El valor promedio de la fuerza electromotriz (f.e.m) es igual a la suma de la f.e.m de cada termopar conectado sobre la cantidad de termopares asociados”.

$$Fem_m = \frac{Fem_1 + Fem_2 + Fem_3}{3}$$

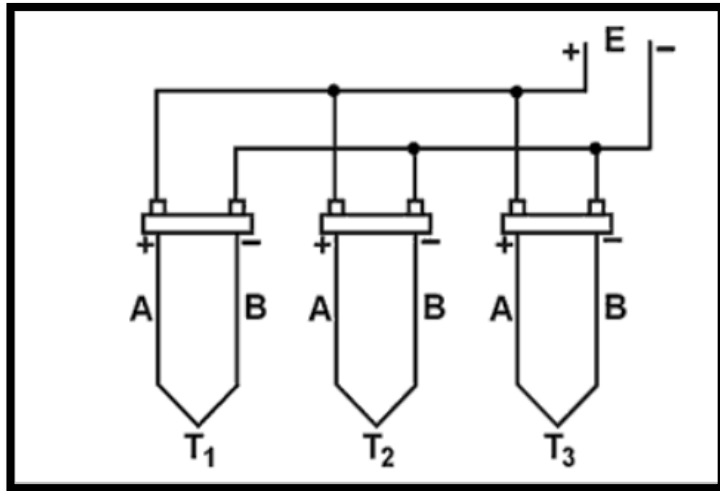


Imagen 12. Termopares en paralelo
Fuente: Termopares.com.br

Este postulado se cumple siempre y cuando los termopares utilizados sean del mismo tipo ya que la curva característica define la fuerza electromotriz generada en cada material. Este arreglo proporciona más sensibilidad, pero se puede tornar menos preciso si no existe homogeneidad en los termopares.

CAPITULO III

6 MARCO METODOLÓGICO

De la misma forma que se presenta esta necesidad en el área de la extendería la mayoría de problemas de ingeniera se presentan de forma abierta, por lo que pueden llegar a tener varias soluciones posibles.

De acuerdo a la forma en la que se presenta el proyecto, primero se necesita plantear las posibles soluciones, para luego evaluarlas y así escoger la solución que cumpla con los requerimientos. La solución escogida debe conllevar a la obtención de prototipos para establecer pruebas que servirán en la implementación de la solución final. Ya que todas estas etapas anteriormente nombradas se encuentran de manera intrínseca en el proceso de diseño de ingeniería, esta metodología se escoge para implementarla en el proyecto, cuya secuencia de las etapas se pueden ilustrar en el siguiente diagrama de bloques:

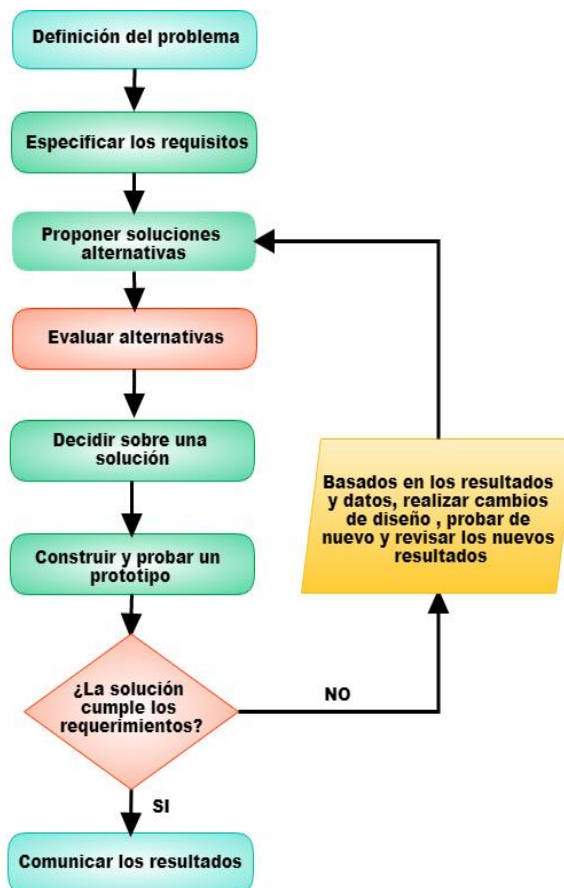


Imagen 13. Diagrama de proceso diseño de ingeniería

Fuente: Fuente: Autor

6.1 Definición del problema

La necesidad identificada consiste en evitar las rupturas espontaneas del producto que se presentan a raíz de los cambios de la temperatura ambiente en el área de la extendería. Estos cambios de temperatura se generan al existir entradas de aire frio a gran velocidad, apoyadas en gran medida por la caída de niebla generada por un bosque húmedo cercano a la planta.

6.2 Especificar los requerimientos

6.2.1.1 Se necesita implementar un instrumento que pueda tener varios puntos de medición los cuales sirvan para caracterizar un área prolongada con medidas aproximadas de 216 metros de largo X 20 metros de ancho, la cual se encuentra seccionada en 6 partes que manejan la entrada de aire en la parte superior por intermedio de compuertas de apertura manual.

6.2.1.2 Se necesita escoger el escenario de la extendería para realizar la implementación del instrumento.

6.2.1.3 Se requiere que el sistema a implementar emplee como máximo dos entradas análogas y dos de termopar.

6.2.1.4 La temperatura ambiente promedio oscila entre 25°C y 110°C, por lo que la ubicación de los instrumentos se restringe a sitios por debajo de los 50°C.

6.3 Generar soluciones alternativas

6.3.1.1 Se necesita implementar un instrumento que pueda tener varios puntos de medición los cuales sirvan para caracterizar un área bastante prolongada con medidas aproximadas de 216 metros de largo X 20 metros de ancho, la cual se encuentra seccionada en 6 partes que manejan la entrada de aire en la parte superior por intermedio de compuertas de apertura manual.

- a) Se podrían adaptar transmisores de temperatura ciegos o con visualización remota y ubicarlos en puntos estratégicos que se comuniquen con el DCS por medio de señales analógicas.
- b) Se podrían adaptar termopares y ubicarlos en puntos estratégicos, los cuales se comuniquen con el DCS por medio de canales de entrada de termopar.
- c) Se podrían adaptar pirómetros infrarrojos y ubicarlos en puntos estratégicos que se comuniquen con el DCS por medio de señales analógicas.
- d) Se podrían adaptar cámaras infrarrojas cuya imagen se enviara de forma remota y ubicarlas en la parte alta para que alcance a visualizar el ancho de la hoja de vidrio.

6.3.1.2 Se necesita escoger el escenario de la extendería para realizar la implementación del instrumento.

- a).Para la implementación se podría instalar el termopar spider en las rejillas de entrada en las zonas cerradas para controlar la velocidad de los motores de extracción.
- e) Para la implementación se podría instalar termopar spider en las rejillas de entrada de las zonas abiertas para controlar la velocidad de los motores de ventilación.
- f) Para la implementación se podría instalar termopar spider en la parte alta de la extendería para realizar control con la compuerta de la cubierta para controlar el ingreso de aire frio hacia las zonas.

6.3.1.3 El sistema de control solo cuenta con dos entradas análogas y dos para conexión de termopar, por lo tanto, no se podrá instalar más de dos instrumentos de control. Además de esto se necesitan contrastar como mínimo dos puntos externos contra dos puntos de referencia internos debido a la longitud de la compuerta.

- a) Adquirir dos tarjetas de control, una para entradas análogas y la otra de termopares al DCS las cuales dejarían a disposición 10 canales analógicos y 16 de termopar.
- b) Implementar controladores de temperatura externos independientes al sistema de control DCS.
- c) Implementar solo dos instrumentos control.
- d) Desarrollar un instrumento que detecte temperatura en varios puntos el cual emplee entradas reducidas al sistema de control.

6.3.1.4 La temperatura ambiente promedio oscila entre 25°C y 110°C, por lo que la ubicación de los instrumentos se restringe a sitios por debajo de los 50°C.

- a) Cablear los instrumentos hacia los puntos fríos de la extendería
- b) Instalar chaquetas refrigeradas por agua , aire comprimido o nitrógeno gaseoso
- c) Forrar los instrumentos con chaquetas aluminadas.

6.4 Evaluar alternativas

Para evaluar las soluciones alternativas, se emplea una matriz de selección de acuerdo a (McCain, 2011) donde se listan el criterio deseado y las alternativas disponibles.

Para el diligenciamiento de esta matriz se siguieron los siguientes pasos

- a. Se identificaron los criterios y se colocaron bajo la columna de criterios de la matriz en la parte izquierda
- b. Se listaron las alternativas postuladas y se colocaron bajo la columna de alternativas en la parte derecha.
- c. Se valoraron las alternativas contra cada uno de los criterios usando una escala de 1 a 5, siendo 5 el más asimilable al ideal
- d. Se multiplicaron los valores en cada columna y se obtuvieron los puntajes

6.4.1.1 Para seleccionar el tipo de instrumento a implementar, se desarrolló la siguiente matriz:

Matriz de selección para el tipo de instrumento				
Criterio	Soluciones alternativas			
	Transmisor de temperatura	Termopar	Pirómetro infrarrojo	Cámara infrarroja
Presupuesto	2	4	3	1
Capacidad señales (DCS)	2	5	3	2
Instalación eléctrica	3	5	3	3
Tiempo de instalación	2	4	2	2
Retorno de inversión	3	4	3	3
Puntaje total	72	1600	162	36
Alternativa elegida	3	1	2	4

Tabla 2. Matriz de selección para el tipo de instrumento
Fuente: Autor

6.4.1.2 Para seleccionar el escenario donde el instrumento se ira a instalar, se desarrolló la siguiente matriz:

Matriz de selección para el escenario			
Criterio	Soluciones alternativas		
	Zona Cerrada	Zona Abierta	Compuerta de la Cubierta
Factibilidad del montaje	4	4	4
Afectación del proceso	2	2	4
Paradas de proceso	2	2	4
Adaptabilidad del sistema	2	3	3
Pruebas del sistema	2	2	4
Puntaje total	64	96	768
Alternativa elegida	3	2	1

Tabla 3. Matriz de selección para el escenario
Fuente: Autor

6.4.1.3 Para seleccionar el manejo que se le dará a la restricción de entradas en el sistema de control, se desarrolló la siguiente matriz:

Matriz de selección entradas al sistema de control				
Criterio	Soluciones alternativas			
	Adquirir tarjetas de control que	Implementar Controladores de temperatura	Implementar solo dos instrumentos	Desarrollar un instrumento
Presupuesto	1	1	5	5
Capacidad señales (DCS)	5	4	4	5
Instalación eléctrica	4	4	3	3
Tiempo de instalación	2	3	3	4
Retorno de inversión	3	2	1	4
Puntaje total	120	96	180	1200
Alternativa elegida	3	4	2	1

*Tabla 4. Matriz de selección para las entradas de control
Fuente: Autor*

6.4.1.4 Para seleccionar el manejo que se le dará a la restricción por la temperatura ambiente, se desarrolló la siguiente matriz:

Matriz de selección por la restricción de temperatura			
Criterio	Soluciones alternativas		
	Cablear los instrumentos hasta puntos fríos	Instalar chaquetas refrigeradas	Forrar con chaquetas aluminadas.
Presupuesto	4	1	3
Factibilidad del montaje	3	4	3
Tiempo de instalación	3	2	4
Adaptabilidad del sistema	4	3	2
Retorno de inversión	3	2	3
Puntaje total	432	48	216
Alternativa elegida	1	3	2

*Tabla 5. Matriz de selección para la restricción por temperatura
Fuente: Autor*

6.5 Decidir sobre una solución

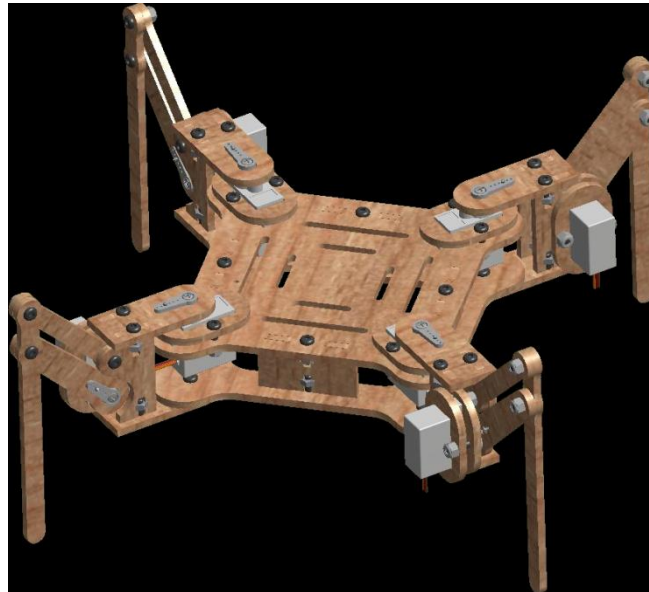
De acuerdo a los resultados de las matrices de selección se opta por la siguiente solución:

Se debe desarrollar un termopar que contraste la temperatura del recinto con la temperatura de ingreso por medio de la compuerta ubicada en la cubierta. Este termopar debe emplear como máximo dos canales de termopar al DCS, cuyos elementos de control deben ser cableados hasta los puntos fríos de la extendería que estén por debajo de los 50 °C.

6.6 Realizar el prototipo

6.6.1 Diseño de un prototipo de prueba.

El robot escogido es una araña cuadrúpeda de madera, de dimensiones; Largo: 21cm, Ancho: 21cm, Alto: 20cm, cuenta con cuatro extremidades donde cada una es comandada por dos servos, uno para el hombro y el otro para la pata, manejando ocho grados de libertad.



*Imagen 14. Robot araña cuadrúpeda
Fuente: spiercetech.com*

Ya que el robot tiene cuatro extremidades, lo ideal es que el prototipo de termopar posea cuatro puntos de sensibilidad y que se utilicen juntas tipo K que fueron las seleccionadas para realizar el proyecto, también pensando en que preferiblemente sean

de junta expuesta por la facilidad para ensamblarlas. De acuerdo a la longitud de las patas las cuales son de 110mm aproximadamente, las medidas del termopar individual se podrían establecer en 28mm de longitud donde los cables compensados serian de 240mm de longitud cuyas puntas llegarían a la unión fría del termopar Spider.

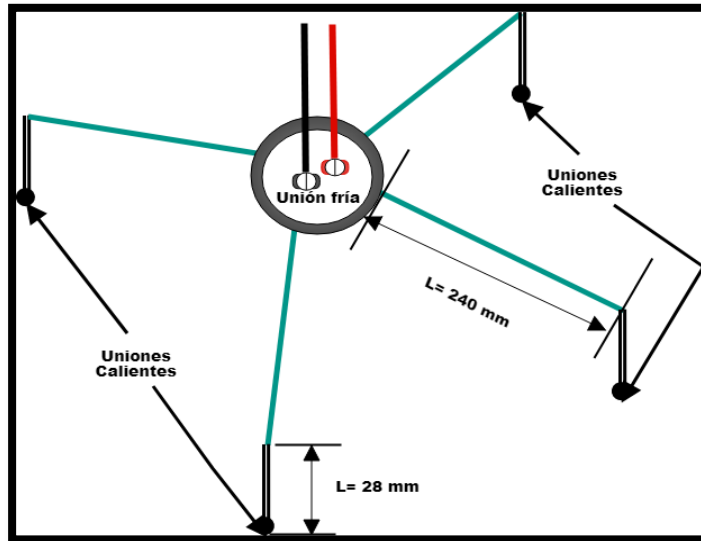


Imagen 15. Diseño prototipo de termopar spider
Fuente: Autor

Se toman del manual de ensamble de robot los planos para instalar el prototipo de termopar, que de acuerdo a su fisionomía se bautiza como "Termopar Spider", luego se proyecta la distribución de los puntos de sensibilidad sobre el robot.

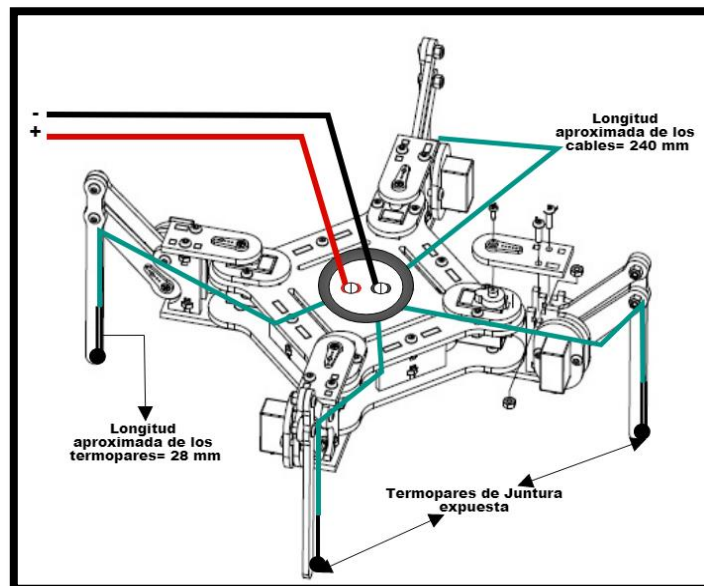


Imagen 16. Distribución de puntos de sensibilidad
Fuente: Autor

Ya que la f.e.m producida por el termopar Spider está en el orden de los milivoltios se requiere conectar al módulo amplificador MAX 6675 el cual fue desarrollado para conectar una entrada de termopar tipo K a cualquier micro controlador utilizando una interfaz SPI unidireccional.

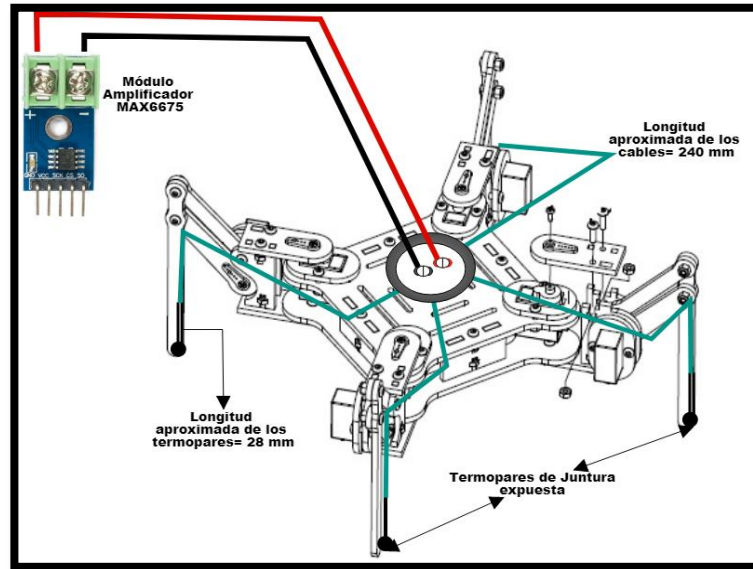


Imagen 17. Implementando modulo amplificador
Fuente: Autor

Luego se establece un diagrama de conexión para los otros módulos que van hacia la placa de Arduino Leonardo, entre estos esta la conexión del módulo MAX 6675K.

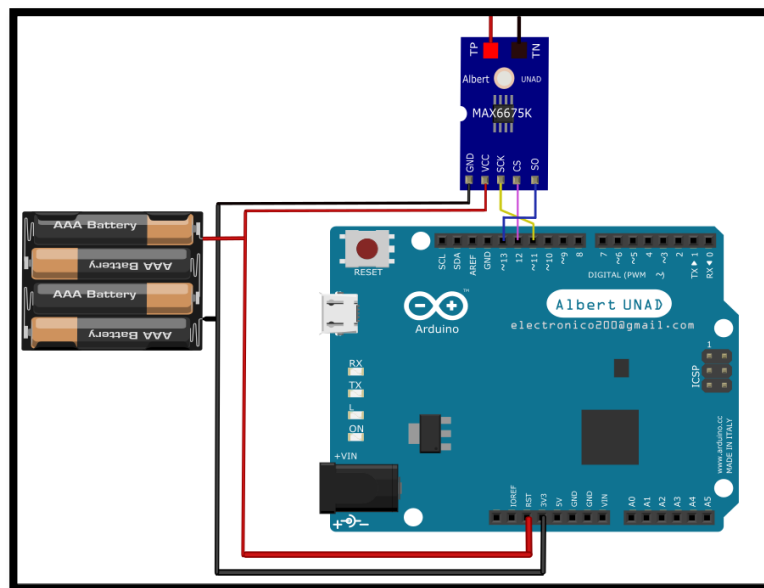


Imagen 18. Conexión a la placa de Arduino
Fuente: Autor

Por último se establece un diagrama de conexión para el módulo controlador de servos PCA 9685, el cual permite controlar individualmente 16 salidas PWM con una resolución de 12 bits , manejando una frecuencia máxima de 1600Hz,

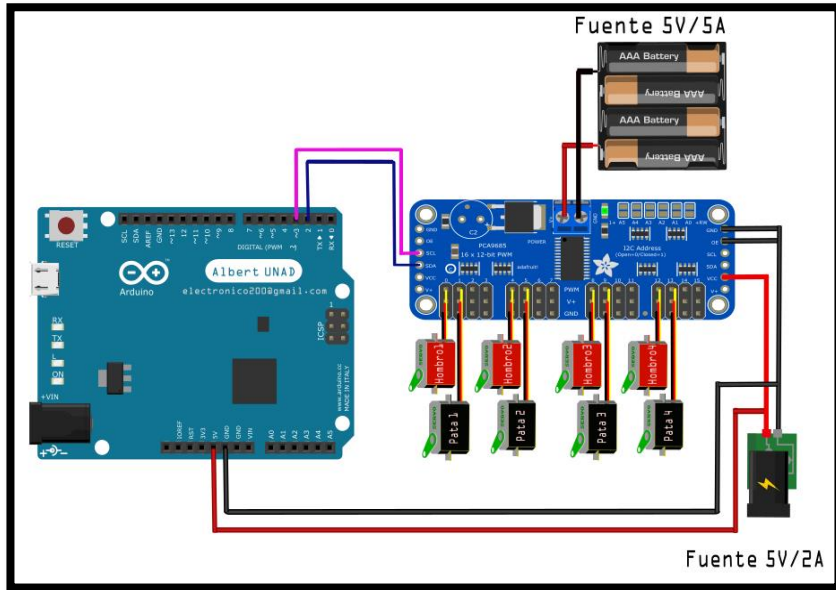


Imagen 19. Conexión de los servos
Fuente: Autor

El robot se debe montar sobre una base la cual facilite la supervisión de los movimientos, el estudio de la trayectoria y la reacción a los cambios de temperatura en cada una de sus extremidades.

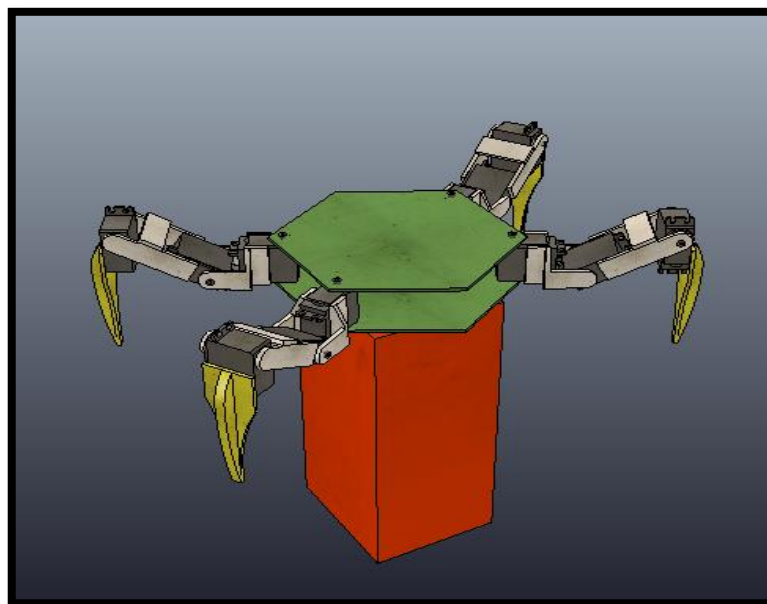


Imagen 20. Robot proyectado sobre base
Fuente: Autor

6.6.2 Ensamble del prototipo de prueba.

Se procede a realizar el ensamble del robot implementando dentro del mismo el prototipo de termopar.

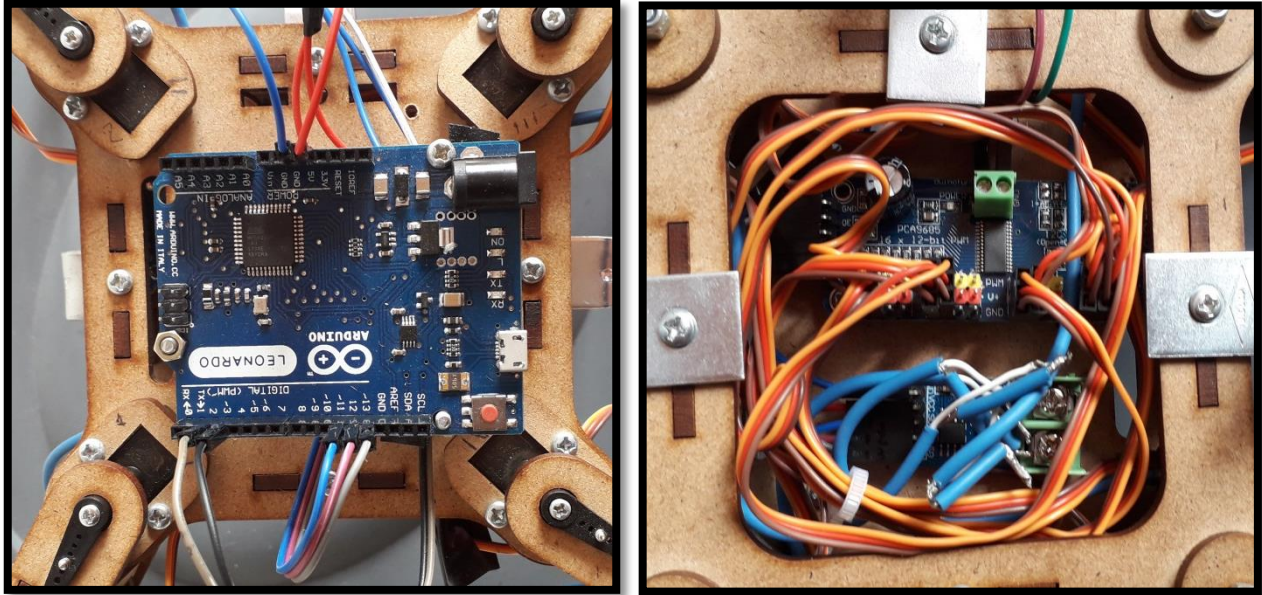


Imagen 21. Ensamble de prototipo
Fuente: Autor

Luego se instala sobre la base para realizar las pruebas.

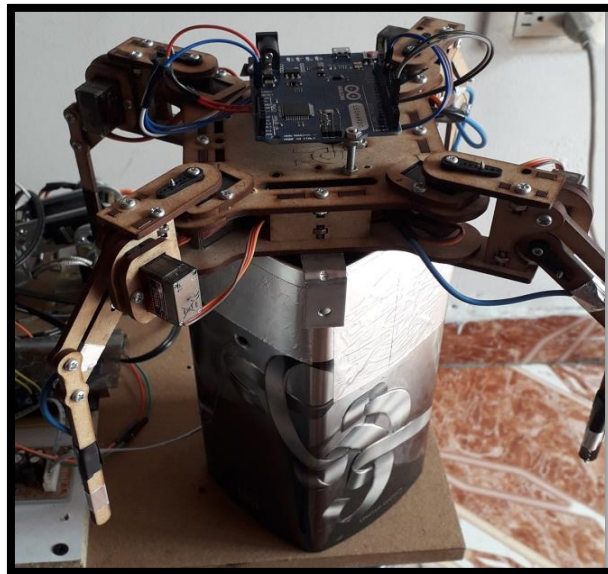


Imagen 22. Robot sobre base
Fuente: Autor

6.6.3 Diseño del termopar Spider para el proceso

6.6.3.1 Diseño técnico del termopar

Después de realizar varios borradores se establece el diseño del termopar Spider en el cual se especifica; la longitud de cada extremidad, el tipo de material de la funda, el tipo de juntura y el tipo de cabezote.

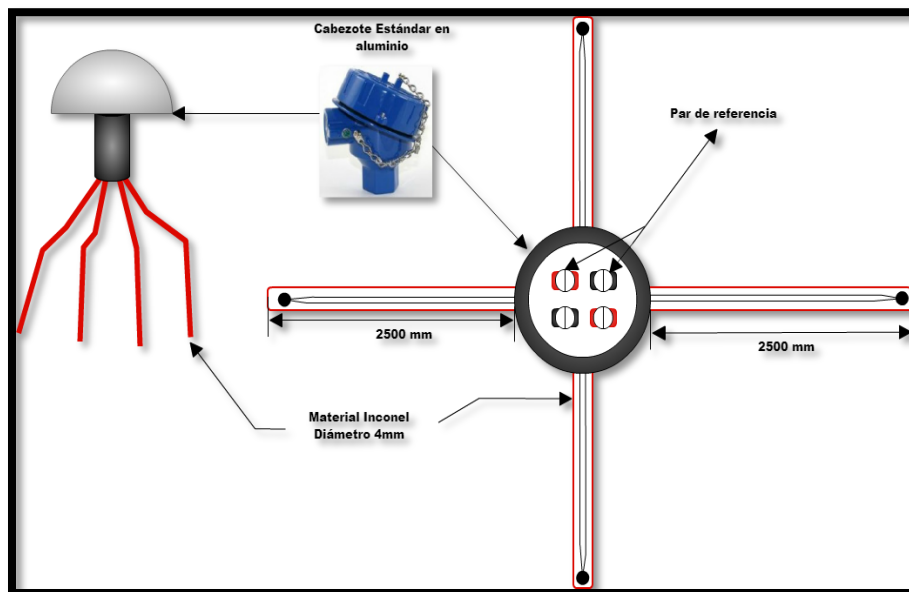


Imagen 23. Diseño del termopar Spider

Fuente: Autor

6.6.4 Fabricación del termopar Spider

A nivel mundial existen varias normas empleadas para la fabricación de termopares, entre las que se destacan las normas ANSI (American National Standards Institute) y las normas IEC (International Electrotechnical Commission), entonces de acuerdo al caso planteado las características de fabricación deben estar alineadas con las normas IEC porque la casa matriz de la compañía es Francesa.

De acuerdo al código de colores que establece la norma IEC la chaqueta del cable debe ser de color verde, donde el hilo conductor positivo también debe ser de color verde y el conductor negativo debe ser de color blanco.

Conectores				Conectores						
Código de color ANSI	Código de color ANSI/ASTM E-230 Grado de termopar Grado de extensión		Combinación de aleación Conductor + Conductor -		Comentarios Entorno Cable pelado	Rango de temp. máximo grado termopar	FEM (mV) en todo el rango de temp. máximo	Codificación de color IEC 584-3 Grado de termopar Intrínsecamente seguro		Código IEC
J			HIERRO Fe (magnético)	CONSTANTÁN CUPRONIQUEL Cu-Ni	Reductor, vacío, inerte. Uso limitado en entornos oxidantes a altas temperaturas. No se recomienda para temperaturas bajas.	-210 a 1200 °C -346 a 2193 °F	-8.095 a 69.553			J
K			CHROMEQA™ NICHROMO Ni-Cr	ALQMEGA™ NIQUEL-ALUMINIO Ni-Al (magnético)	Oxidante limpio e inerte. Uso limitado en vacío o atmósfera reductora. Amplio rango de temperatura, la calibración más popular.	-270 a 1372 °C -454 a 2501 °F	-6.458 a 54.886			K
T			COBRE Cu	CONSTANTÁN CUPRONIQUEL Cu-Ni	Ligeramente oxidante, reductor, vacío o inerte. Bueno en condiciones de humedad presente. Aplicaciones a temperaturas bajas y criogénicas.	-270 a 400 °C -454 a 752 °F	-6.258 a 20.872			T
E			CHROMEQA™ NICHROMO Ni-Cr	CONSTANTÁN CUPRONIQUEL Cu-Ni	Oxidante o inerte. Uso limitado en vacío o atmósfera reductora. El cambio más alto de FEM por grado.	-270 a 1000 °C -454 a 1832 °F	-9.835 a 76.373			E
N			OMEGA-P™ NICHROSIL Ni-Cr-Si	OMEGA-N™ NISIL Ni-Si-Mg	Alternativa a tipo K. Más estable a temperaturas altas.	-270 a 1300 °C -450 a 2372 °F	-4.345 a 47.513			N
R	NO SE HA ESTABLECIDO		PLATINO-13 % RODIO Pt-13 % Rh	PLATINO Pt	Oxidante o inerte. No insertar en tubos metálicos. Cuidado con la contaminación. Temperatura alta.	-50 a 1768 °C -58 a 3214 °F	-0.226 a 21.101			R

Imagen 24. Códigos de color según normas ANSI e IEC

Fuente: studylib

De acuerdo al rango de trabajo del termopar Spider que está entre los 40°C y los 120°C, la tolerancia de la clase de exactitud requerida, debe estar entre los ±1.5 °C.

Código IEC	Clase 1	Clase 2	Clase 3††
J	Rango de temperatura Valor Tolerancia Rango de temperatura Valor Tolerancia	-40 a 375°C ±1.5°C 375 a 750°C ±0.4% De lectura	-40 a 333°C ±2.5°C 333 a 750°C ±0.75% De lectura
K N	Rango de temperatura Valor Tolerancia Rango de temperatura Valor Tolerancia	-40 a 375°C ±1.5°C 375 a 1000°C ±0.4%	-40 a 333°C ±2.5°C 333 a 1200°C ±0.75% De lectura
T	Rango de temperatura Valor Tolerancia Rango de temperatura Valor Tolerancia	-40 a 125°C ±0.5°C 125 a 350°C ±0.4% De lectura	-40 a 133°C ±1°C 133 a 350°C ±0.75% De lectura
E	Rango de temperatura Valor Tolerancia Rango de temperatura Valor Tolerancia	-40 a 375°C ±1.5°C 375 a 800°C ±0.4% De lectura	-40 a 333°C ±2.5°C 333 a 900°C ±0.75% De lectura
R S	Rango de temperatura Valor Tolerancia Rango de temperatura Valor Tolerancia	0 a 1100°C ±1°C 1100 a 1600°C ±[1 + 0.3% x (Rdg-1100)]°C	0 a 600°C ±1.5°C 600 a 1600°C ±0.25% De lectura
B	Rango de temperatura Valor Tolerancia Rango de temperatura Valor Tolerancia	No establecido	600 a 800°C +4°C 800 a 1700°C ±0.5% De lectura

†† Nota: El material se selecciona normalmente para satisfacer tolerancias por encima de -40 °C. Si se necesitan termopares para cumplir con los límites de la clase 3, así como los de la clase 1 o 2, el comprador deberá indicar esto, ya que usualmente se requiere la selección de material.

Imagen 25. Tolerancias normas IEC

Fuente: studylib

Las normas estipuladas para la fabricación se sintetizan para tres requerimientos de la siguiente forma:

- IEC 60584-1: Límites de uso y exactitudes de los termopares
- NF EN 60584-1: Punto caliente aislado de la masa
- NFC 42321: Tolerancias de los cables límites de error clase 1

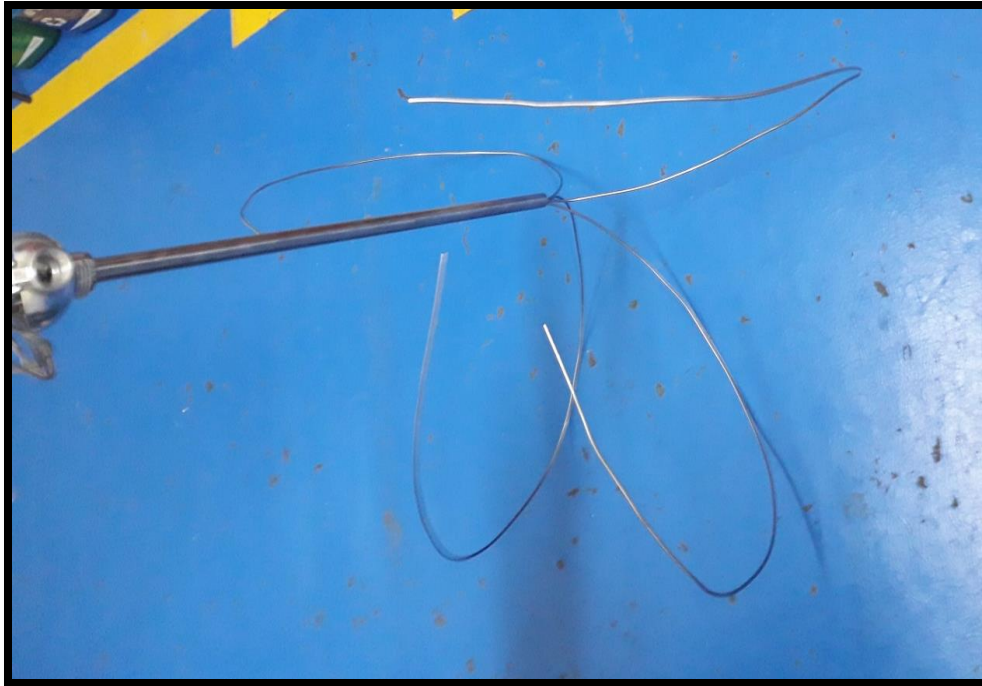


Imagen 26. Modelo Fabricado del termopar Spider

Fuente: Autor

6.6.5 Adaptación al proceso productivo

6.6.5.1 Creación del Tag Número

Para asignar un nombre al lazo de control es necesario nombrar un Tag número que corresponda con la aplicación de la norma ISA para esta área de planta el cual de acuerdo a su distribución quedara así:

Tag TIC 56001"Control Indicador de Temperatura zona 5, sub zona 6, lazo 001

6.6.5.2 Creación del Face Plate

Esta figura se crea dentro de las HIS de sistema SCADA para supervisar sincrónicamente los valores PV(Valor de Proceso) MV(Valor Manual) SV (Set Valor) Para luego enlazarla con el elemento final de control.

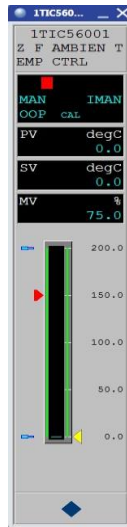


Imagen 27. Face Plate
Fuente: Sistema YOKOGAWA

6.6.5.3 Asignación Canal Análogo

Dentro del sistema de control se asigna una entrada análoga la cual va a ejercer control sobre una válvula proporcional que gobernara la entrada de aire ambiente en la zona abierta.

Label	Terminal	Signal	Conversion	Service Comment	Low Limit	High Limit	Unit	Set Details	P41D Tag Name	Label
Specify label.	%2088101	Input	Type R	CI TOP C S TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES3013	%%TES3013
	%2088102	Input	Type R	CI TOP RC S TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES3014	%%TES3014
	%2088103	Input	Type R	CI TOP R S TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES3015	%%TES3015
	%2088104	Input	Type R	CI BOT L S TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES3311	%%TES3311
	%2088105	Input	Type R	CI BOT LC S TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES3312	%%TES3312
	%2088106	Input	Type R	CI BOT C TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES3313	%%TES3313
	%2088107	Input	Type R	CI BOT RC S TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES3314	%%TES3314
	%2088108	Input	Type R	CI BOT R S TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES3315	%%TES3315
	%2088109	Input	Type R	DONE RET1 TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES5011	%%TES5011
	%2088110	Input	Type R	DONE RET2 TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES5021	%%TES5021
	%2088111	Input	Type R	DONE RET3 TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES5031	%%TES5031
	%2088112	Input	Type R	DONE A0 TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES0013	%%TES0013
	%2088113	Input	Type R	TEMP. ELECTRICAL ROOM ET.1	-200	1200	C	No	TE80007	%%TE80007
	%2088114	Input	Type R	TEMP. ELECTRICAL ROOM PCC LR-H	-200	1200	C	No	TE80008	%%TE80008
	%2088115	Input	Type R	ZONA F AMBIENT TEMPERATURE	-200	1200	C	No	TES6001	%%TES6001
	%2088116	Input	Type R		-200	1200	C	No		

Imagen 28. Asignación de canal
Fuente: Sistema YOKOGAWA

6.6.5.4 Creación del Barra Graf de la compuerta

Es necesario visualizar el lazo de control termopar- válvula proporcional, para ello se asigna un icono llamado barra Graf el cual informa el estado de apertura de la compuerta.

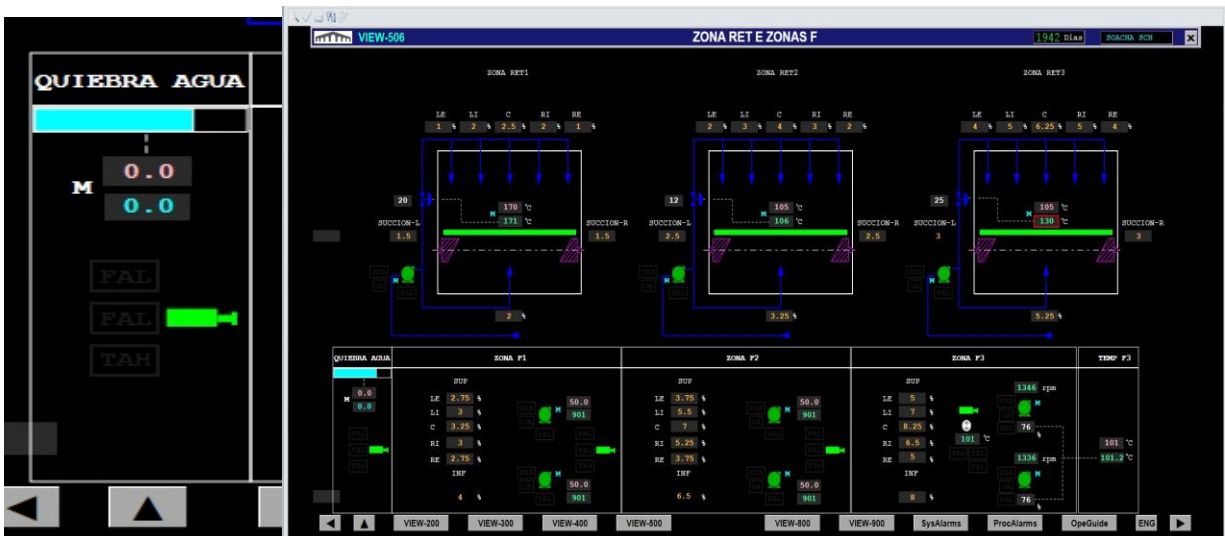


Imagen 29. Barra Graf de la compuerta
Fuente: Sistema YOKOGAWA

6.6.5.5 Asignación de un bloque PID en el lazo de control

Finalmente se asigna un bloque PID para establecer un control de acuerdo a la respuesta natural del sistema.

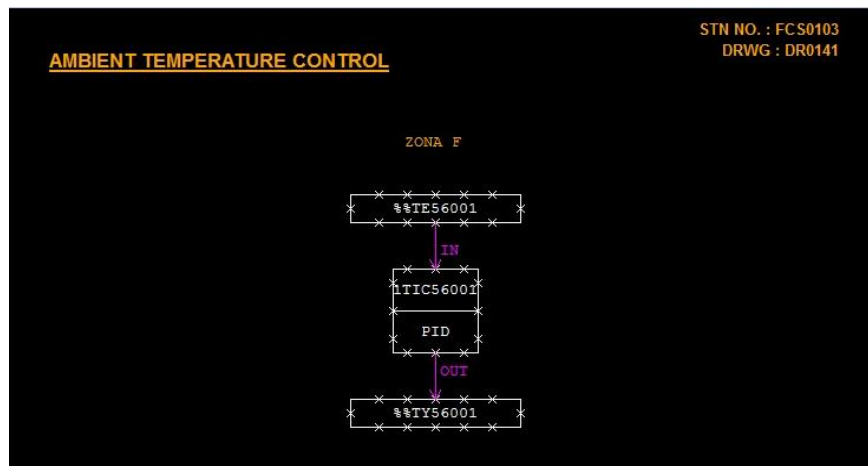


Imagen 30. Bloque PID
Fuente: Sistema YOKOGAWA

6.6.5.6 Tendencia del sistema

Después de realizar la respectiva instalación del termopar Spider y del elemento final de control, el sistema arroja las tendencias que nos ayudaran a controlar la cantidad de aire que ingresa a la zona abierta de la extendería.

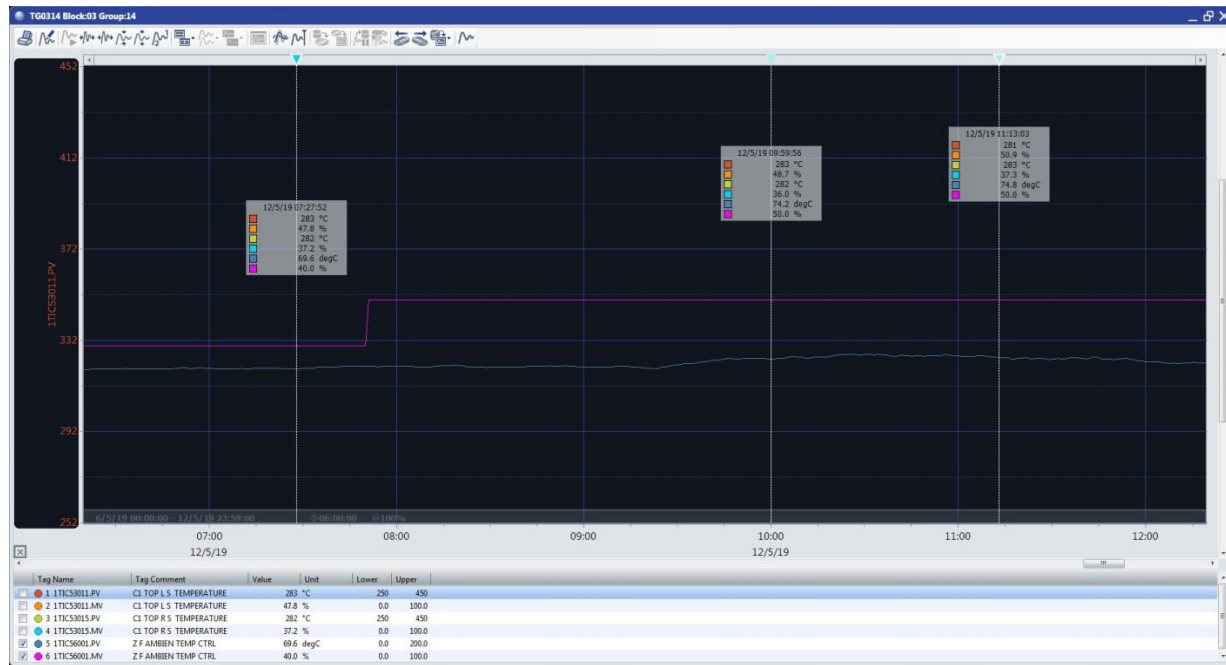


Imagen 31. Tendencia del sistema
Fuente: Sistema YOKOGAWA

CAPITULO IV

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el prototipo de prueba se estableció una comunicación entre el controlador de Arduino y una hoja de Excel, con el fin caracterizar el comportamiento del termopar Spider cuando una de sus juntas se expone a un cambio de temperatura.

Tiempo (Seg)	Una Junta (°C)	Dos Juntas (°C)	Tres Juntas (°C)	Cuatro Juntas (°C)
1	20,25	20,5	21,75	21,75
3	20,5	20,75	21,75	21,75
5	20,75	20,75	22,5	22,25
7	21,25	21,25	22,75	22,25
9	22,25	22,75	22,75	22,5
11	24	22,5	23	22,25
13	23,25	22,75	23	22,75
15	23,5	23,25	23,25	23
17	24,25	23,5	24,5	23
19	27,5	25,5	24,75	23,75
21	30,25	27,25	26,5	24,5
23	35,25	29,5	28,5	25,25
25	38,25	31,5	29	26,75
27	42,5	33,25	31,5	27,25
29	47,25	38,75	33,25	28,75
31	51,25	44,25	35,25	29,25
33	58,75	48,5	37,25	30,75
35	66,75	52,25	39,75	32,75
37	73,75	57,25	40,75	33,25
39	76,5	60	42,25	34,25
41	79,5	62,75	42,5	34,5
43	83,25	64,75	42,5	35
45	85,25	65,25	41,25	35
47	88,5	66,25	40,5	34,75
49	85,25	66,25	39,25	34
51	77,75	64,25	37,25	33,5
53	69,75	60,75	35,5	32,25
55	63,75	56,25	33,25	31
57	60,25	51,75	31,75	29,75

59	55,25	47,75	30,75	28,75
61	50,5	44,25	29,25	27,25
63	46,75	40,25	28,25	27
65	43,25	36,25	28	26,75
67	38,25	32,75	27,25	26,5
69	32,25	30,25	27	26
71	28,5	28,5	27,25	25,25
73	26,75	26,75	27	25,25
75	26	26,5	26,75	25
77	25,75	26,5	26,5	24,75
79	25	25,75	26,25	24,25
81	24,75	25	26	24
83	24	24,75	25,5	25
85	23,75	24,5	25,25	24,75
87	23,25	24	25	24,75
89	23,25	23,75	24,5	24,5
91	23	23,75	24,5	24,25
93	22,5	23,5	23,75	24
95	22,25	23,25	23,5	24
97	22	23,25	23,5	23,25
99	21,75	23	23	23,25
101	21,5	23	22,75	23
103	21,5	23,25	22,75	22,75
105	21,25	22,75	22,5	22,5
107	21,25	22,5	22,75	22,5
109	21,75	22,25	22,75	22,25

Tabla 6. Caracterización de las juntas
Fuente: Autor

7.1 Análisis de datos Prototipo de prueba

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla de caracterización se realiza una gráfica donde se muestra el valor de la temperatura con respecto al tiempo de restablecimiento a la temperatura inicial.

Vale la pena aclarar que aun cuando se aumente el número de juntas solo es una junta la que se perturba.

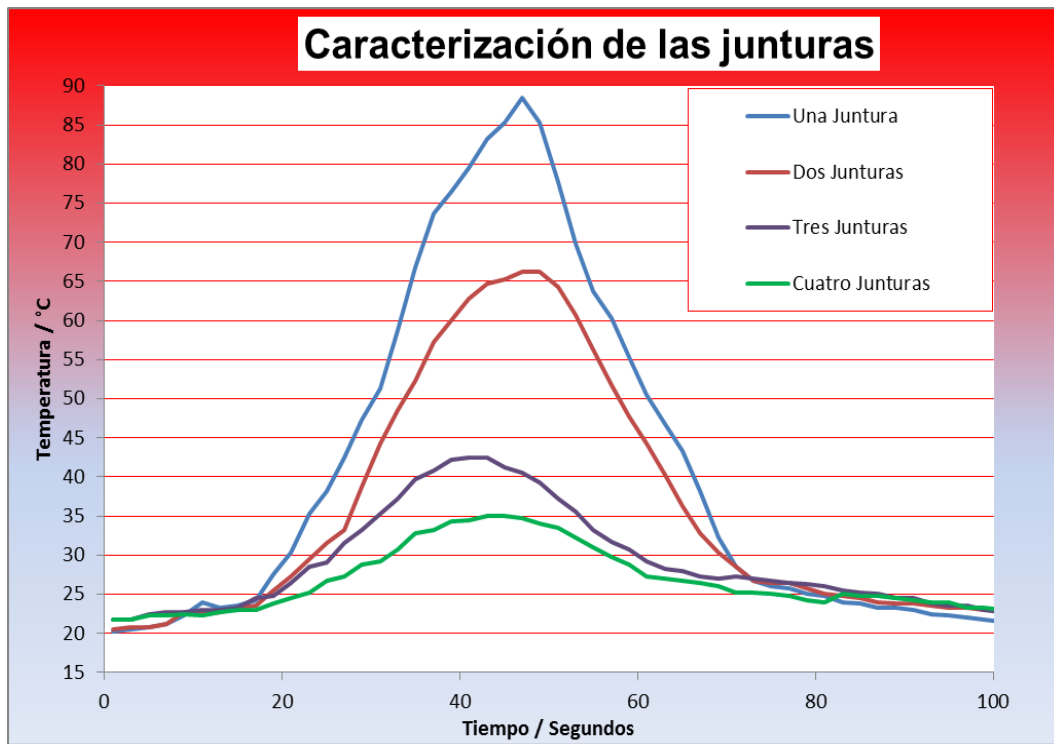


Imagen 32. Grafica de caracterización
Fuente: Autor

Observaciones:

- ✓ En el eje de la temperatura se observa que el valor pico más alto se presenta cuando se emplea una sola junta.
- ✓ En el eje del tiempo se observa que el retorno a la temperatura inicial es más rápido cuando se emplea una mayor cantidad de juntas
- ✓ En la programación del robot se pueden establecer puntos de control más estables cuando se emplea una mayor cantidad de juntas.

7.2 Análisis de datos Termopar Spider

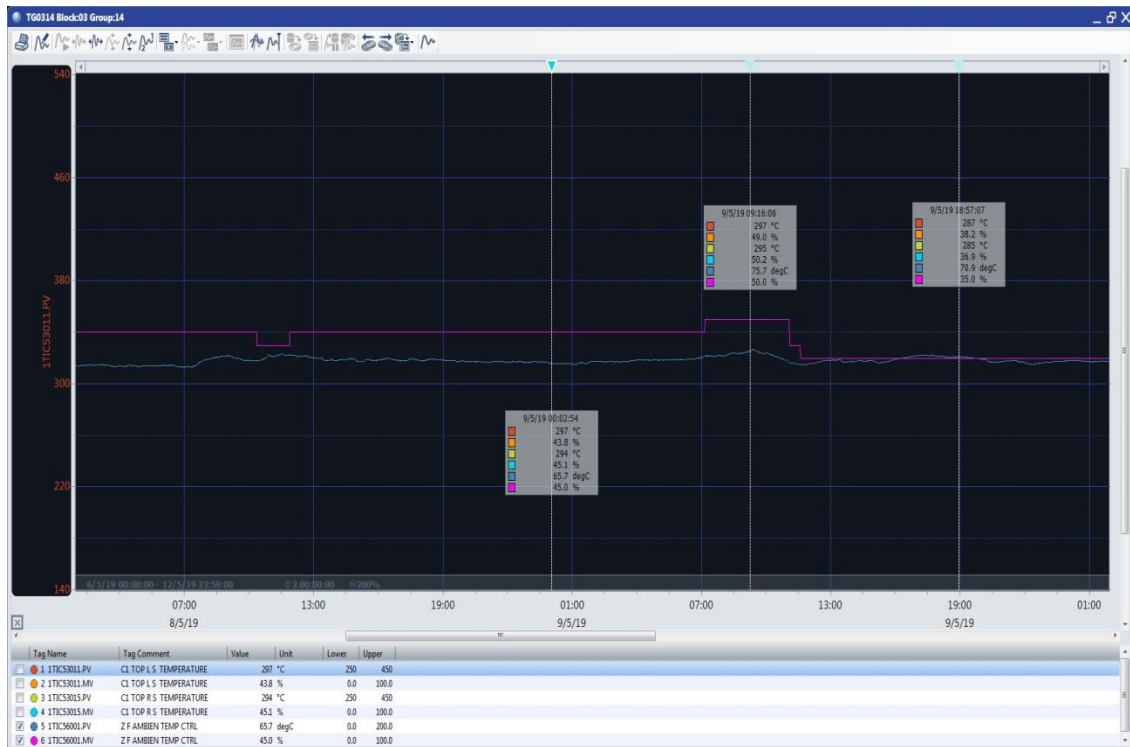


Imagen 33. Respuesta del sistema ante una entrada en escalón
Fuente: Sistema YOKOGAWA

- ✓ la diferencia de temperatura es mayor cuando se emplea una menor cantidad de juntas dentro del termopar Spider, lo cual conlleva a que el retorno del valor de la temperatura inicial sea más lento y menos amortiguado.
- ✓ El sistema de control solo emplea la entrada TIC 56001 para realizar ajustes de temperatura en la zona abierta

8 CONCLUSIONES

- En base a la información obtenida de las tendencias del proceso junto a las mediciones con termo anemómetros, se lograron identificar que las variables de la temperatura y la humedad relativa afectaban en mayor medida la conformación de la hoja de vidrio.
- Se postularon varias alternativas de solución enfocadas en disminuir el impacto de las variables que afectaban la conformación del producto.
- Se eligieron las alternativas mejor perfiladas, aplicando matrices de selección correspondientes a los requerimientos.
- Se construyó un prototipo de termopar que posteriormente fue adaptado a un robot, el cual facilitó la recolección de los datos y la posterior evaluación de resultados.
- Finalmente se logra diseñar e implementar un sistema termopar Spider adaptándolo al proceso productivo y por medio del cual se consigue controlar las fluctuaciones de temperatura en el ambiente de las zonas abiertas en la extendería.
- Este prototipo al ser de fácil construcción y adaptación, se podrá implementar en cualquier robot autónomo con la intención de agregar sentido del tacto.

9 RECOMENDACIONES

- Para aplicar este modelo de termopar en robots, se recomienda realizar programación con tarjetas FPGA (matriz de puertas reprogramable) porque este tipo de matrices permiten controlar y monitorear múltiples señales sin necesidad de estar limitado a la ejecución secuencial que poseen los procesadores de uso común.
- Para caracterizar ambientes es recomendable armar termopares Spider con juntas que sean expuestas, porque permiten que la respuesta a una perturbación sea de mayor velocidad.
- Para caracterizar puntos de temperatura sobre partes metálicas es recomendable armar termopares Spider con juntas protegidas ensambladas con fundas metálicas, ya que los metales son buenos conductores térmicos, logran transmitir rápidamente la respuesta de una perturbación hacia la unión fría del termopar Spider.

ANEXOS

ANEXO A:

Referencia de las f.e.m para juntas tipo K

Fuente: Tablas ITS-90

Tabla de referencia para Termopares Tipo K de acuerdo a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90)										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-260	-6,441	-6,444	-6,446	-6,448	-6,45	-6,452	-6,453	-6,455	-6,456	-6,457
-250	-6,404	-6,408	-6,413	-6,417	-6,421	-6,425	-6,429	-6,432	-6,435	-6,438
-240	-6,344	-6,351	-6,358	-6,364	-6,37	-6,377	-6,382	-6,388	-6,393	-6,399
-230	-6,262	-6,271	-6,28	-6,289	-6,297	-6,306	-6,314	-6,322	-6,329	-6,337
-220	-6,158	-6,17	-6,181	-6,192	-6,202	-6,213	-6,223	-6,233	-6,243	-6,252
-210	-6,035	-6,048	-6,061	-6,074	-6,087	-6,099	-6,111	-6,123	-6,135	-6,147
-200	-5,891	-5,907	-5,922	-5,936	-5,951	-5,965	-5,98	-5,994	-6,007	-6,021
-190	-5,73	-5,747	-5,763	-5,78	-5,797	-5,813	-5,829	-5,845	-5,861	-5,876
-180	-5,55	-5,569	-5,588	-5,606	-5,624	-5,642	-5,66	-5,678	-5,695	-5,713
-170	-5,354	-5,374	-5,395	-5,415	-5,435	-5,454	-5,474	-5,493	-5,512	-5,531
-160	-5,141	-5,163	-5,185	-5,207	-5,228	-5,25	-5,271	-5,292	-5,313	-5,333
-150	-4,913	-4,936	-4,96	-4,983	-5,006	-5,029	-5,052	-5,074	-5,097	-5,119
-140	-4,669	-4,694	-4,719	-4,744	-4,768	-4,793	-4,817	-4,841	-4,865	-4,889
-130	-4,411	-4,437	-4,463	-4,49	-4,516	-4,542	-4,567	-4,593	-4,618	-4,644
-120	-4,138	-4,166	-4,194	-4,221	-4,249	-4,276	-4,303	-4,33	-4,357	-4,384
-110	-3,852	-3,882	-3,911	-3,939	-3,968	-3,997	-4,025	-4,054	-4,082	-4,11
-100	-3,554	-3,584	-3,614	-3,645	-3,675	-3,705	-3,734	-3,764	-3,794	-3,823
-90	-3,243	-3,274	-3,306	-3,337	-3,368	-3,4	-3,431	-3,462	-3,492	-3,523
-80	-2,92	-2,953	-2,986	-3,018	-3,051	-3,083	-3,115	-3,147	-3,179	-3,211
-70	-2,587	-2,62	-2,654	-2,688	-2,721	-2,755	-2,788	-2,821	-2,854	-2,887
-60	-2,243	-2,278	-2,312	-2,347	-2,382	-2,416	-2,45	-2,485	-2,519	-2,553
-50	-1,889	-1,925	-1,961	-1,996	-2,032	-2,067	-2,103	-2,138	-2,173	-2,208
-40	-1,527	-1,564	-1,6	-1,637	-1,673	-1,709	-1,745	-1,782	-1,818	-1,854

-30	-1,156	-1,194	-1,231	-1,268	-1,305	-1,343	-1,38	-1,417	-1,453	-1,49
-20	-0,778	-0,816	-0,854	-0,892	-0,93	-0,968	-1,006	-1,043	-1,081	-1,119
-10	-0,392	-0,431	-0,47	-0,508	-0,547	-0,586	-0,624	-0,663	-0,701	-0,739
0	0	-0,039	-0,079	-0,118	-0,157	-0,197	-0,236	-0,275	-0,314	-0,353
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,839	0,879	0,919	0,96	1	1,041	1,081	1,122	1,163
30	1,203	1,244	1,285	1,326	1,366	1,407	1,448	1,489	1,53	1,571
40	1,612	1,653	1,694	1,735	1,776	1,817	1,858	1,899	1,941	1,982
50	2,023	2,064	2,106	2,147	2,188	2,23	2,271	2,312	2,354	2,395
60	2,437	2,478	2,519	2,561	2,602	2,644	2,685	2,727	2,768	2,81
70	2,851	2,893	2,934	2,976	3,017	3,059	3,101	3,142	3,184	3,225
80	3,267	3,308	3,35	3,391	3,433	3,474	3,516	3,557	3,599	3,64
90	3,682	3,723	3,765	3,806	3,848	3,889	3,931	3,972	4,014	4,055
100	4,096	4,138	4,179	4,22	4,262	4,303	4,344	4,385	4,427	4,468
110	4,509	4,55	4,591	4,633	4,674	4,715	4,756	4,797	4,838	4,879
120	4,92	4,961	5,002	5,043	5,084	5,124	5,165	5,206	5,247	5,288
130	5,328	5,369	5,41	5,451	5,491	5,532	5,572	5,613	5,654	5,694
140	5,735	5,775	5,815	5,856	5,896	5,937	5,977	6,017	6,058	6,098
150	6,138	6,179	6,219	6,259	6,299	6,34	6,38	6,42	6,46	6,5
160	6,54	6,58	6,62	6,661	6,701	6,741	6,781	6,821	6,861	6,901
170	6,941	6,981	7,021	7,061	7,1	7,14	7,18	7,22	7,26	7,3
180	7,34	7,38	7,42	7,46	7,5	7,54	7,58	7,619	7,659	7,699
190	7,739	7,779	7,819	7,859	7,899	7,939	7,979	8,019	8,059	8,099
200	8,139	8,178	8,218	8,258	8,298	8,338	8,378	8,418	8,459	8,499
210	8,539	8,579	8,619	8,659	8,699	8,739	8,779	8,819	8,86	8,9
220	8,94	8,98	9,02	9,061	9,101	9,141	9,181	9,222	9,262	9,302
230	9,343	9,383	9,423	9,464	9,504	9,545	9,585	9,626	9,666	9,707
240	9,747	9,788	9,828	9,869	9,909	9,95	9,991	10,031	10,072	10,113
250	10,153	10,194	10,235	10,276	10,316	10,357	10,398	10,439	10,48	10,521
260	10,561	10,602	10,643	10,684	10,725	10,766	10,807	10,848	10,889	10,93
270	10,971	11,012	11,053	11,094	11,135	11,176	11,218	11,259	11,3	11,341
280	11,382	11,423	11,465	11,506	11,547	11,588	11,63	11,671	11,712	11,753
290	11,795	11,836	11,877	11,919	11,96	12,002	12,043	12,084	12,126	12,167
300	12,209	12,25	12,292	12,333	12,374	12,416	12,457	12,499	12,541	12,582
310	12,624	12,665	12,707	12,748	12,79	12,832	12,873	12,915	12,956	12,998
320	13,04	13,081	13,123	13,165	13,206	13,248	13,29	13,331	13,373	13,415
330	13,457	13,498	13,54	13,582	13,624	13,665	13,707	13,749	13,791	13,833
340	13,875	13,916	13,958	14	14,042	14,084	14,126	14,168	14,209	14,251
350	14,293	14,335	14,377	14,419	14,461	14,503	14,545	14,587	14,629	14,671
360	14,713	14,755	14,797	14,839	14,881	14,923	14,965	15,007	15,049	15,091
370	15,133	15,175	15,217	15,259	15,301	15,343	15,385	15,427	15,469	15,511

380	15,554	15,596	15,638	15,68	15,722	15,764	15,806	15,849	15,891	15,933
390	15,975	16,017	16,059	16,102	16,144	16,186	16,228	16,27	16,313	16,355
400	16,397	16,439	16,482	16,524	16,566	16,608	16,651	16,693	16,735	16,778
410	16,82	16,862	16,904	16,947	16,989	17,031	17,074	17,116	17,158	17,201
420	17,243	17,285	17,328	17,37	17,413	17,455	17,497	17,54	17,582	17,625
430	17,667	17,709	17,752	17,794	17,837	17,879	17,921	17,964	18,006	18,049
440	18,091	18,134	18,176	18,219	18,261	18,303	18,346	18,388	18,431	18,473
450	18,516	18,558	18,601	18,643	18,686	18,728	18,771	18,813	18,856	18,898
460	18,941	18,983	19,026	19,069	19,111	19,154	19,196	19,239	19,281	19,324
470	19,366	19,409	19,452	19,494	19,537	19,579	19,622	19,664	19,707	19,75
480	19,792	19,835	19,877	19,92	19,963	20,005	20,048	20,09	20,133	20,176
490	20,218	20,261	20,303	20,346	20,389	20,431	20,474	20,516	20,559	20,602
500	20,644	20,687	20,73	20,772	20,815	20,857	20,9	20,943	20,985	21,028
510	21,071	21,113	21,156	21,199	21,241	21,284	21,327	21,369	21,412	21,454
520	21,497	21,54	21,582	21,625	21,668	21,71	21,753	21,796	21,838	21,881
530	21,924	21,966	22,009	22,052	22,094	22,137	22,179	22,222	22,265	22,307
540	22,35	22,393	22,435	22,478	22,521	22,563	22,606	22,649	22,691	22,734
550	22,776	22,819	22,862	22,904	22,947	22,99	23,032	23,075	23,118	23,16
560	23,203	23,245	23,288	23,331	23,373	23,416	23,458	23,501	23,544	23,586
570	23,629	23,671	23,714	23,757	23,799	23,842	23,884	23,927	23,97	24,012
580	24,055	24,097	24,14	24,182	24,225	24,268	24,31	24,353	24,395	24,438
590	24,48	24,523	24,565	24,608	24,65	24,693	24,735	24,778	24,82	24,863
600	24,906	24,948	24,991	25,033	25,076	25,118	25,16	25,203	25,245	25,288
610	25,33	25,373	25,415	25,458	25,5	25,543	25,585	25,628	25,67	25,712
620	25,755	25,797	25,84	25,882	25,924	25,967	26,009	26,052	26,094	26,136
630	26,179	26,221	26,263	26,306	26,348	26,39	26,433	26,475	26,517	26,56
640	26,602	26,644	26,687	26,729	26,771	26,814	26,856	26,898	26,94	26,983
650	27,025	27,067	27,109	27,152	27,194	27,236	27,278	27,321	27,363	27,405
660	27,447	27,489	27,531	27,574	27,616	27,658	27,7	27,742	27,784	27,827
670	27,869	27,911	27,953	27,995	28,037	28,079	28,121	28,163	28,205	28,247
680	28,29	28,332	28,374	28,416	28,458	28,5	28,542	28,584	28,626	28,668
690	28,71	28,752	28,794	28,836	28,877	28,919	28,961	29,003	29,045	29,087
700	29,129	29,171	29,213	29,255	29,297	29,338	29,38	29,422	29,464	29,506
710	29,548	29,589	29,631	29,673	29,715	29,757	29,798	29,84	29,882	29,924
720	29,965	30,007	30,049	30,091	30,132	30,174	30,216	30,257	30,299	30,341
730	30,382	30,424	30,466	30,507	30,549	30,59	30,632	30,674	30,715	30,757
740	30,798	30,84	30,881	30,923	30,965	31,006	31,048	31,089	31,131	31,172
750	31,214	31,255	31,296	31,338	31,379	31,421	31,462	31,504	31,545	31,586
760	31,628	31,669	31,711	31,752	31,793	31,835	31,876	31,917	31,959	32
770	32,041	32,082	32,124	32,165	32,206	32,247	32,289	32,33	32,371	32,412
780	32,453	32,495	32,536	32,577	32,618	32,659	32,7	32,742	32,783	32,824

790	32,865	32,906	32,947	32,988	33,029	33,07	33,111	33,152	33,193	33,234
860	35,718	35,758	35,799	35,839	35,879	35,92	35,96	36	36,041	36,081
870	36,121	36,162	36,202	36,242	36,282	36,323	36,363	36,403	36,443	36,484
880	36,524	36,564	36,604	36,644	36,685	36,725	36,765	36,805	36,845	36,885
890	36,925	36,966	37,006	37,046	37,086	37,126	37,166	37,206	37,246	37,286
900	37,326	37,366	37,406	37,446	37,486	37,526	37,566	37,606	37,646	37,686
910	37,726	37,765	37,805	37,845	37,885	37,925	37,965	38,005	38,044	38,084
920	38,124	38,164	38,204	38,243	38,283	38,323	38,363	38,402	38,442	38,482
930	38,522	38,561	38,601	38,641	38,68	38,72	38,76	38,799	38,839	38,878
940	38,918	38,958	38,997	39,037	39,076	39,116	39,156	39,195	39,235	39,274
950	39,314	39,353	39,393	39,432	39,471	39,511	39,55	39,59	39,629	39,669
960	39,708	39,747	39,787	39,826	39,866	39,905	39,944	39,984	40,023	40,062
970	40,102	40,141	40,18	40,219	40,259	40,298	40,337	40,376	40,416	40,455
980	40,494	40,533	40,572	40,611	40,651	40,69	40,729	40,768	40,807	40,846
1000	41,276	41,315	41,354	41,393	41,431	41,47	41,509	41,548	41,587	41,626
1010	41,665	41,704	41,743	41,782	41,82	41,859	41,898	41,937	41,976	42,014
1020	42,053	42,092	42,131	42,169	42,208	42,247	42,286	42,324	42,363	42,402
1030	42,44	42,479	42,518	42,556	42,595	42,633	42,672	42,711	42,749	42,788
1040	42,826	42,865	42,903	42,942	42,98	43,019	43,057	43,096	43,134	43,173
1050	43,211	43,25	43,288	43,327	43,365	43,403	43,442	43,48	43,518	43,557
1060	43,595	43,633	43,672	43,71	43,748	43,787	43,825	43,863	43,901	43,94
1070	43,978	44,016	44,054	44,092	44,131	44,169	44,207	44,245	44,283	44,321
1080	44,359	44,397	44,435	44,474	44,512	44,55	44,588	44,626	44,664	44,702
1090	44,74	44,778	44,816	44,854	44,891	44,929	44,967	45,005	45,043	45,081
1100	45,119	45,157	45,194	45,232	45,27	45,308	45,346	45,383	45,421	45,459
1110	45,497	45,534	45,572	45,61	45,648	45,685	45,723	45,76	45,798	45,836
1120	45,873	45,911	45,949	45,986	46,024	46,061	46,099	46,136	46,174	46,211
1130	46,249	46,286	46,324	46,361	46,398	46,436	46,473	46,511	46,548	46,585
1140	46,623	46,66	46,697	46,735	46,772	46,809	46,847	46,884	46,921	46,958
1150	46,996	47,033	47,07	47,107	47,144	47,181	47,219	47,256	47,293	47,33
1160	47,367	47,404	47,441	47,478	47,515	47,552	47,589	47,626	47,663	47,7
1170	47,737	47,774	47,811	47,848	47,884	47,921	47,958	47,995	48,032	48,069
1180	48,105	48,142	48,179	48,216	48,252	48,289	48,326	48,363	48,399	48,436
1190	48,473	48,509	48,546	48,582	48,619	48,656	48,692	48,729	48,765	48,802
1200	48,838	48,875	48,911	48,948	48,984	49,021	49,057	49,093	49,13	49,166
1210	49,202	49,239	49,275	49,311	49,348	49,384	49,42	49,457	49,493	49,529
1220	49,565	49,601	49,638	49,674	49,71	49,746	49,782	49,818	49,854	49,89
1230	49,926	49,962	49,998	50,034	50,07	50,106	50,142	50,178	50,214	50,25
1240	50,286	50,322	50,358	50,393	50,429	50,465	50,501	50,537	50,572	50,608
1250	50,644	50,68	50,715	50,751	50,787	50,822	50,858	50,894	50,929	50,965
1260	51	51,036	51,071	51,107	51,143	51,178	51,213	51,249	51,284	51,32

1270	51,355	51,391	51,426	51,461	51,497	51,532	51,567	51,603	51,638	51,673
1280	51,709	51,744	51,779	51,814	51,849	51,885	51,92	51,955	51,99	52,025
1290	52,06	52,095	52,13	52,165	52,2	52,235	52,27	52,305	52,34	52,375
1300	52,41	52,445	52,48	52,515	52,55	52,585	52,62	52,654	52,689	52,724
1310	52,759	52,794	52,828	52,863	52,898	52,933	52,967	53,002	53,037	53,071
1320	53,106	53,14	53,175	53,21	53,244	53,279	53,313	53,348	53,382	53,417
1330	53,451	53,486	53,52	53,555	53,589	53,623	53,658	53,692	53,727	53,761
1340	53,795	53,83	53,864	53,898	53,932	53,967	54,001	54,035	54,069	54,104
1350	54,138	54,172	54,206	54,24	54,274	54,308	54,343	54,377	54,411	54,445
1360	54,479	54,513	54,547	54,581	54,615	54,649	54,683	54,717	54,751	54,785
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

ANEXO B:

Sketch Arduino para exportar a formato Excel

Fuente: Autor

Código de Arduino para exportar datos a Excel:

```

/*Sketch para enviar información obtenida a Excel
 * Albert Unad
 * 2019
 */

#include "max6675.h" //Librería para usar modulo MAX.
float temperatura=0; //Acá se genera una variable flotante para
almacenar valor de temperatura.
int ktcSO = 13; //luego se definen los pines a usar en el módulo
MAX6675.
int ktcCS = 12;
int ktcCLK = 11;
MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Inicio de la comunicación serial.

```

```

    Serial.println("CLEARDATA"); //limpia los datos anteriores.
    Serial.println("LABEL, Hora, temperatura");
}

void loop() { //Leer temperatura.
    temperatura=ktc.readCelsius(); //Lectura en grados Celsius.
    Serial.print("DATA, TIME, Temperatura,"); //Enviar dato de
temperatura por el puerto serial.
    Serial.print(temperatura);
    Serial.print(",");
    Serial.println(" C");
    delay(2000);
}
}

```

ANEXO C:

Sketch Arduino programación del robot araña

Fuente: Autor

```

/*Sketch para manejar el Robot
 * Albert Unad
 * 2019
 */

//Se incluyen las librerías necesarias.

#include <Wire.h> //Comunicación con dispositivos I2C / TWI.
#include <Servo.h> //Permite controlar los servomotores.
#include "max6675.h" //Permite comunicar el módulo MAX6675
Termopar tipo K.
#include <Adafruit_PWMServoDriver.h> //Permite manejar una tarjeta
Shield de 16 canales.

//Declaración de variables de temperatura.
float temperatura=0; //Variable flotante para almacenar la
temperatura.
int ktcSO = 8; //serial output.

```

```

int ktcCS = 9;          //Chip Select.
int ktcCLK = 10;       //Serial Clock.
MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);
//Para los drivers de los Servos.
Adafruit_PWMServoDriver pwm = Adafruit_PWMServoDriver();
//pin A5 --SCL pin A4--SDA pin GND--OE dispositivos I2C / TWI.
#define SERVOMIN 150 // Longitud de pulso mínimo (de 4096).
#define SERVOMAX 550 // Longitud de pulso máximo (de 4096).
//Short es un tipo de dato de 16 bits.
const unsigned short h1 = 0; //Hombro # 1
const unsigned short p1 = 1; //Pata # 1
const unsigned short h2 = 4; //Hombro # 2
const unsigned short p2 = 5; //Pata # 2
const unsigned short h3 = 8; //Hombro # 3
const unsigned short p3 = 9; //Pata # 3
const unsigned short h4 = 12; //Hombro # 4
const unsigned short p4 = 13; //Pata # 4

void setup()

{
  Serial.begin(9600); //Inicio de comunicación serial
  pwm.begin(); //Inicio frecuencia PWM (modulación por ancho de pulso)
  pwm.setPWMFreq(60); //Servos analógicos funcionan a ~ 60 Hz
}

void leer()

{
  temperatura=ktc.readCelsius();
  //Enviar dato de temperatura por el puerto serial.
  Serial.print("Temperatura = ");
  Serial.print(temperatura);
  Serial.println(" C");
  delay(500);
}

void andar() //Funcion para andar

{
  pwm.setPWM(p1, 0, 450);
  pwm.setPWM(p3, 0, 450);
  delay (500);
  leer();

  pwm.setPWM(h1, 0, 400);

```

```

    pwm.setPWM(h3, 0, 300);
    delay (300);

    pwm.setPWM(p1, 0, 400);
    pwm.setPWM(p3, 0, 400);
    delay (300);

    pwm.setPWM(p2, 0, 250);
    pwm.setPWM(p4, 0, 250);
    delay (300);
    leer();
    pwm.setPWM(h1, 0, 350);
    pwm.setPWM(h3, 0, 350);
    delay (300);

    pwm.setPWM(h2, 0, 300);
    pwm.setPWM(h4, 0, 400);
    delay (300);

    pwm.setPWM(p2, 0, 200);
    pwm.setPWM(p4, 0, 200);
    delay (300);

    pwm.setPWM(p1, 0, 300);
    pwm.setPWM(p3, 0, 300);
    delay (300);

    pwm.setPWM(h2, 0, 350);
    pwm.setPWM(h4, 0, 350);
    delay (300);
    leer();
}

void atras() //Función andar en reversa
{

    pwm.setPWM(p1, 0, 450);
    pwm.setPWM(p3, 0, 450);
    delay (100);

    for (int i = 0; i < 10; i++)
    {
        pwm.setPWM(h1, 0, 300);
        pwm.setPWM(h3, 0, 400);
        delay (200);
    }
}

```

```

    pwm.setPWM(p1, 0, 300);
    pwm.setPWM(p3, 0, 300);
    delay (200);

    pwm.setPWM(p2, 0, 250);
    pwm.setPWM(p4, 0, 250);
    delay(200);

    pwm.setPWM(h1, 0, 350);
    pwm.setPWM(h3, 0, 350);
    delay(200);

    pwm.setPWM(h2, 0, 400);
    pwm.setPWM(h4, 0, 300);
    delay (200);

    pwm.setPWM(p2, 0, 200);
    pwm.setPWM(p4, 0, 200);
    delay(200);

    pwm.setPWM(p1, 0, 400);
    pwm.setPWM(p3, 0, 400);
    delay (200);

    pwm.setPWM(h2, 0, 350);
    pwm.setPWM(h4, 0, 350);
    delay(200);
}
leer();
}
void saludo()// Funcion para que salude el robot
{
    //Posicionar los hombros del robot
    pwm.setPWM(h1, 0, 350);
    pwm.setPWM(h2, 0, 350);
    pwm.setPWM(h3, 0, 350);
    pwm.setPWM(h4, 0, 350);
    //Posicionar las patas del robot
    pwm.setPWM(p1, 0, 550);
    pwm.setPWM(p2, 0, 550);
    pwm.setPWM(p3, 0, 550);
    pwm.setPWM(p4, 0, 550);
    delay (250);

    pwm.setPWM(p3, 0, 250);
    delay (500);
}

```

```

    for (int i = 0; i < 3; i++)
    {
        pwm.setPWM(h3, 0, 250);
        delay (250);
        pwm.setPWM(h3, 0, 450);
        delay (250);
    }
    leer();
}

/** La condición para el lazo es (Si) la temperatura es menor a
29,9°C
    el robot explora el territorio tranquilamente)**
** Cuando percibe en cualquiera de sus patas un cambio brusco de
temperatura
    busca afanosamente un sitio seguro retrocediendo**
** Esto se logra con la condición (de otro modo Si) la
temperatura supera
    el valor de referencia**
*/

void loop()

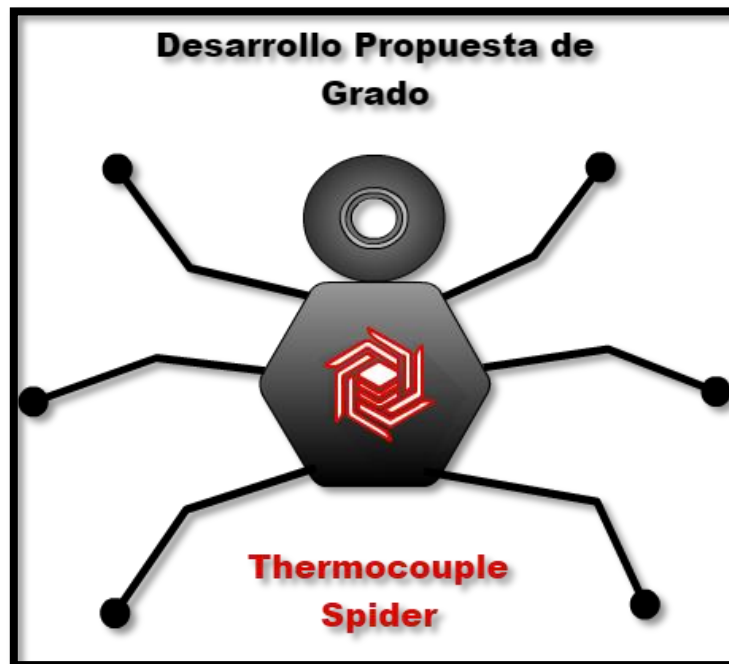
{
    if(temperatura<=29.9)
    {
        andar();
        delay(1000);
    }
    else if (temperatura>=30.1)
    {
        saludo();
        delay(500);
        atras();
        delay(500);
    }
}

```

ANEXO C:

Logotipo del termopar

Fuente: Autor



10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Creus Solé, A. (1997). instrumentación industrial (Vol. 6). Barcelona, España: ALFAOMEGA
- [2]. WIKA. (2019). Instrumentos WIKA Colombia S.A.S. (A. Wiegand, Editor) Recuperado el 7 de 6 de 2019, de WIKA Colombia: https://www.wika.co/tc95_es_es.WIKA
- [3]. Blog del CEP Gran Canaria Sur. (2017). Método Científico vs Proceso de Diseño de Ingeniería, ¿qué proceso utilizo? 15.01.2019, de Gobierno canarias Sitio web: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/edublogs/cepgrancanariasur/2017/1/01/metodo-cientifico-vs-proceso-de-diseno-de-ingenieria-que-proceso-utilizo/>
- [4]. S. Ferdoush and X. Li, “Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications,” in Procedia Computer Science, 2014, vol. 34, pp. 103–110.
- [5]. Mariana Madariaga, Daniela Vélez, Diana Sierra. (2014). Proyecto Efecto Seebeck. 19.11.2018, de Blogspot Sitio web: <http://pesrt.blogspot.com/2014/03/>
- [6]. Termopares.com.br. (2017). ASSOCIAÇÃO DE TERMOPARES EM PARALELO. 15.11.2018, de termopares.com Sitio web: http://termopares.com.br/teoria_sensores_temperatura_termopares_associacao_paralelo/

- [7]. Leccese, M. Cagnetti, and D. Trinca, "A smart city application: A fully controlled street lighting isle based on Raspberry-Pi card, a ZigBee sensor network and WiMAX," *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 12, pp. 24408–24424, Dec. 2014.
- [8]. L. Henan Hanwei Electronics CO., "MQ-7 Semiconductor Sensor for Carbon Monoxide," pp. 2–4.
- [9]. D-robotics, "DHT 11 Humidity & Temperature Sensor," DHT11 Datasheet, p. 9, 2010.
- [10]. R. Hartono et al., "Universitas Sumatera Utara 70," *Current*, vol. 2010, no. November, pp. 1–6, 2010.
- [11]. Medrano-E'Vers, A. E. Morales-Hernández, R. Valencia-López, and D. R. Hernández-Salcedo, "Enfermedad granulomatosa crónica," *Med. Interna Mex.*, vol. 33, no. 3, pp. 407–414, 2017.
- [12]. E. Abele, R. Bowen, J. Lingohr, N. Plunkett, and A. Stolper, "The Apache HTTP Server Project," *Documentation*, 2011. [Online]. Available: <http://httpd.apache.org/docs/trunk/>.

