



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE
LAS VARIABLES DE TEMPERATURA DE HORNOS DE FUNDICIÓN, Y
VELOCIDAD E INTENSIDAD DE LOS CILINDROS EN LA LÍNEA IV DE
COLADA CONTINUA EN CVG ALUCASA.**

Autor(es):

Amer Kamal A.

C.I: V-25.765.064

Eduardo A. León M.

C.I: V-27.687.674



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE
LAS VARIABLES DE TEMPERATURA DE HORNOS DE FUNDICIÓN, Y
VELOCIDAD E INTENSIDAD DE LOS CILINDROS EN LA LÍNEA IV DE
COLADA CONTINUA EN CVG ALUCASA.**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO.

Autor(es):

Amer Kamal A.

C.I: V-25.765.064

Eduardo A. León M.

C.I: V-27.687.674

Tutor Académico:

Gerson Sánchez

San Diego, Septiembre 2021



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

PLANILLA SOLICITUD: ANÁLISIS Y APROBACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

DATOS PERSONALES		
Apellidos: 1. León Mendoza. 2. Kamal Abo Harb.	Nombres: 1. Eduardo Alfonzo. 2. Amer.	
Dirección: 1. Urb. Las Brisas Av. Los Mangos, Mariara, Estado Carabobo. 2. Agua Blanca, Valencia, Estado Carabobo.	Telf.: 1. 0412-871-7914 2. 0412-407-4377	
DATOS ACADÉMICOS		
Escuela: Ingeniería Electrónica.	Índice Académico	1. 16.20 2. 16.45
DATOS DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO		
Autor: Nombre: 1. León Mendoza, Eduardo Alfonzo 27687674 2. Kamal Abo Harb, Amer 25765064		Teléfono: 0412-871-7914. 0412-407-4377.
Título del Trabajo: Diseño de un prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG ALUCASA.		
Breve Explicación: CVG Alucasa es una empresa transformadora de aluminio ubicada en Guacara, estado Carabobo, y dentro de sus procesos, cuenta con fases de fundición y colada, laminación gruesa y fina, y acabado y empaque. En la zona de fundición existen cuatro líneas de colada continua. Actualmente existen registros de las variables temperatura de hornos velocidad de cilindros e intensidad de cilindros a través de indicadores locales obsoletos, al respecto es importante aclarar que cualquier valor de lectura de esas variables incide en la parada de la línea de producción. Por ser un proceso térmico el proceso de un nuevo arranque se demora unas cuatro horas. Y las pérdidas por hora son considerables. Ante tal problema se requiere un dispositivo que mida estas variables sean indicadas a través de un monitor, remotamente.		
Lugar donde se desarrollará el Proyecto: CVG ALUCASA – Guacara, Estado Carabobo.		
Tiempo de Desarrollo: Aproximadamente 6 meses.		
Tutor Académico propuesto: Gerson Sánchez. Tutor Académico Metodológico: Alicia de Pizzella.		

APROBADO NO APROBADO

COMITÉ DE EVALUACIÓN

COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

Prof. Ana Avendaño

ACAP

04-02-2021

Nombre

Firma

Fecha

DIRECCIÓN DE ESCUELA

WILMER SANZ



02/02/2021

Nombre

Firma

Fecha

Materias o áreas del conocimiento del Pensum que intervienen en la realización del Proyecto (Enumérelas)

1. Sensores y adquisición de datos.
2. Microprocesadores.
3. Instrumentación industrial.

Línea de Investigación:

Desarrollo de nuevas tecnologías de la información y comunicación

Área:

Sistemas Digitales



FI-E-002-2021-1CR (TG)


Valencia, 21 de julio de 2021

Ciudadanos:
Kamal Abo Harb, Amer.
CI. 25.765.064
León Mendoza, Eduardo Alfonzo
CI. 27.687.674
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2021 de fecha 25-05-2021 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA DE HORNOS DE FUNDICIÓN, Y VELOCIDAD E INTENSIDAD DE LOS CILINDROS EN LA LÍNEA IV DE COLADA CONTINUA EN CVG ALUCASA.*** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Se ratifica la designación del Ing. Gerson Sánchez C.I: 7.143.386 como Tutor Académico que los asesorará en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,


Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

GF/aa



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Mediante la presente hago constar que he leído el Proyecto de Trabajo de Grado, elaborado por los ciudadanos Amer Kamal, titular de la cédula de identidad N° 25.765.064 y Eduardo León, titular de la cédula de identidad N° 27.687.674, para optar al grado académico de Ingenieros Electrónicos, cuyo título es **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA DE HORNOS DE FUNDICIÓN, Y VELOCIDAD E INTENSIDAD DE LOS CILINDROS EN LA LÍNEA IV DE COLADA CONTINUA EN CVG ALUCASA”**, adscrito a la línea de investigación: desarrollos de nuevas tecnologías de la información y comunicación, y declaro que acepto la tutoría del mencionado Proyecto de Trabajo de Grado durante su etapa de desarrollo hasta su presentación y evaluación por el jurado evaluador que se designe; según las condiciones del Reglamento de Estudios de la Universidad José Antonio Páez.

En San Diego, a los diecisiete días del mes de Marzo del año dos mil veintiuno.

Ing. Gerson Sánchez.
C. I.: 7.143.386.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

San Diego, Marzo de 2021.

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA DE HORNOS DE FUNDICIÓN, Y VELOCIDAD E INTENSIDAD DE LOS CILINDROS EN LA LÍNEA IV DE COLADA CONTINUA EN CVG ALUCASA** ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Gerson Sánchez

17-03-2021

Tutor Académico

Firma

Fecha

Ing. Alicia de Pizzella

28-3-2021

Tutor Metodológico

Firma

Fecha



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
 COORDINACIÓN DE PASANTÍAS Y TRABAJO DE GRADO
 FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA DE APROBACION DEL INFORME DE PASANTIA O
 TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA DE HORNOS DE FUNDICIÓN Y VELOCIDAD E INTENSIDAD DE LOS CILINDROS EN LA LÍNEA IV DE COLADA CONTINUA EN CVG ALUCASA S.A.

Realizado por el (la) Br AMER KAMAL

C.I.N° 25.765.064, cursante de la carrera de Ingeniería ELECTRONICA hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que reúne los meritos suficientes para su aprobación asignándole la CALIFICACIÓN DEFINITIVA DE VEINTE (20) PUNTOS.

El Jurado

Gerson Sanchez

Tutor académico (coordinador)
 Nombre: Gerson Sanchez
 C.I. 21143586

Jose Perez Colon

Jurado (1)
 Nombre: Jose Perez Colon
 C.I. 8.829.908

Wilredo Mendoza

Jurado (2)
 Nombre: Wilredo Mendoza
 C.I. 22.744.494

Fecha: 10/09/2021

PARA SER LLENADO POR LA COORDINACIÓN DE PASANTIA Y TRABAJO DE GRADO

Ha recibido copia del Acta de Aprobación para ser colocada en la subcomisión Académica.

Nombre del Graduando:
 C.I.
 Fecha:

[Signature]
 Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado

SEMESTRE: 2021-102



UNIVERSIDAD JOSE ANTONIO PAEZ
 COORDINACION DE PASANTIAS Y TRABAJO DE GRADO
 FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad José Antonio Páez

ACTA DE APROBACION DEL INFORME DE PASANTIA O
 TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado de DISEÑO DE UN PROTECTOR ELECTRONICO PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA DE DEFERENCIA DE FUNDICIÓN Y VELOCIDAD E INTENSIDAD DE LOS CHILINDROS EN LA LÍNEA IV DE COLADA CONTINUA EN CVG ALCACASA S.A.

Realizado por el (la) B^o EDUARDO LEÓN

C.I.N° 27.687.674, cursante de la carrera de Ingeniería ELECTRONICA hace constar después de analizar su contenido y oír la exposición oral, considera que reúne los méritos suficientes

para su aprobación asignándole la CALIFICACION DE POSITIVA D VEINTE (20) PUNTOS

[Signature]

El Jurado

[Signature]

Tutor académico (coordinador)

Nombre: García Sánchez

C.I. 21.131.186

Jurado (I)

Nombre: José Pérez Colón

C.I. 8.829.908

[Signature]

Jurado (II)

Nombre: Wendy Mendoza

C.I. 22.741.394

Fecha: 10/09/2021

PARA SER CLENADO POR LA COORDINACIÓN DE PASANTIA Y TRABAJO DE GRADO

<p>He revisado y aprobo el Acta de Aprobación para ser archivado en la oficina de Asesoría.</p> <p>_____ Agente del Coordinador</p> <p>C.I. _____ Fecha _____</p>	<p><i>[Signature]</i></p> <p>Coordinación de Pasantía y Trabajo de Grado</p> <p>SEMESTRE <u>2021-1er</u></p>
---	--

DEDICATORIAS

Ante todo, le agradezco a Dios por cada respiro, por cada oportunidad, y por permitirme estar rodeado de gente que amo y me hace sentir amado. Gracias a la madre naturaleza, por tus frutos y abrigo.

A mi familia, Amira, Khaled, Nancy y Oday, el pilar que formó mis valores, mis sueños y esperanzas. Quienes me acompañan incondicionalmente en cada decisión y en cada camino, siempre esforzándose en enseñarme el valor de amar, en creer en mí mismo y siempre avanzar. Gracias, los amo, adoro y aprecio mucho.

Al profesor Gerson Sánchez, por siempre estar a nuestro lado y acompañarnos durante nuestro viaje en la formación universitaria como futuros profesionales.

A mis amigos y compañeros de clase, como Carlos, Eduardo, Manuel, José, que no solo me brindaron apoyo educativo, sino también soporte emocional a lo largo de mis estudios.

Al personal de Alucasa, por apoyarnos durante la ejecución de nuestro proyecto durante las distintas visitas a planta.

Amer Kamal.

DEDICATORIAS

A Dios Todopoderoso, por brindarme la fortaleza necesaria para llevar a cabo esta investigación.

A mis familiares y amigos, cuya ayuda y comprensión durante la realización de este proyecto, permitieron materializar los objetivos planteados.

Al ingeniero y profesor Gerson Sánchez, por proporcionarnos su apoyo incondicional durante la ejecución de la investigación, tanto a nivel práctico, como teórico y logístico.

A todos los profesores que de una u otra manera, aportaron su grano de arena en mi proceso de formación profesional.

A la población laboral de la planta de CVG Alucasa en Guacara, quienes nos asesoraron con respecto a las nociones básicas práctico-teóricas relacionadas con la línea IV de colada continua de susodicha compañía.

A mi compañero de tesis y amigo, Amer Kamal, pues sin su colaboración, lograr los objetivos de esta investigación no hubiera sido posible.

Eduardo León.

RECONOCIMIENTOS

Al ingeniero y profesor, Gerson Sánchez, quien desempeñó un rol imprescindible como tutor académico, brindándonos soporte y guiatura incondicional y multidisciplinaria durante todo el proceso de investigación y ejecución de este proyecto, aunado a innumerables enseñanzas referentes a la línea IV de colada continua, y sobre la industria del aluminio en general..

Al ingeniero y profesor Agustín Lárez, por asesorarnos en diversas cuestiones referentes a la materia, validando además, buena parte de los planteamientos implementados.

Al personal de CVG Alucasa de Guacara, los cuales, independientemente de su cargo y experiencia, estuvieron a la orden del día durante las visitas a planta, para proporcionarnos apoyo práctico-teórico referente a la operación de la línea IV de colada continua.

A nuestros amigos, quienes fueron clave para apoyarnos y asesorarnos mutuamente, tanto a nivel teórico como metodológico.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pp.
ÍNDICE DE CUADROS.....	xvii
INDICE DE FIGURAS.....	xviii
RESUMEN.....	xx
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Justificación de la investigación	5
1.5 Alcance	6
1.6 Limitaciones	6
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas	10
2.2.1 Señal eléctrica.....	10
2.2.2 Sistemas electrónicos.....	11
2.2.3 Microcontrolador	11
2.2.4 Arduinos	11
2.2.4.1 Tipos de Arduinos.....	12
2.2.5 Internet de las cosas	14
2.2.6 Sensor	14
2.2.6.1 Tipos de Sensores de Temperatura	15

2.2.6.2	Tipos de sensores de velocidad de rotación.....	19
2.2.6.3	Tipos de sensores de intensidad de corriente.....	22
2.2.7	Acondicionamiento de una señal.....	27
2.2.8.	El aluminio.....	28
2.2.9	Proceso de fundición.....	28
2.2.10	La colada continua de aluminio.....	31
2.3	Bases legales.....	33
2.3.1	Código Eléctrico Nacional.....	33
2.3.1.1	Secciones aplicadas del Código Eléctrico Nacional.....	33
2.4	Definición de Términos Básicos.....	34
III	MARCO METODOLÓGICO	
3.1	Tipo de Investigación.....	36
3.2	Diseño de Investigación.....	37
3.3	Nivel de Investigación.....	38
3.4	Población y Muestra.....	38
3.4.1	Población.....	38
3.4.2	Muestra.....	39
3.5	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	39
3.5.1	Técnicas de Recolección de Datos.....	40
3.5.1.1	Observación Directa.....	40
3.5.1.2	Revisión Documental.....	40
3.5.1.3	Entrevista.....	40
3.5.2	Instrumentos de Recolección de Datos.....	41
3.5.2.1	Guion de Entrevista.....	41
3.5.2.2	Registro Fotográfico.....	41
3.6	Fases Metodológicas.....	41
IV	RESULTADOS	
4.1	Fase I.....	43
4.1.1	Estudio del funcionamiento de una línea de fundición de colada.....	43

continua de aluminio	
4.1.1.1	Constitución de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa 44
4.1.1.2	Operación general de la línea IV de colada 45
continua de CVG Alucasa	
4.1.1.3	Condiciones de funcionamiento 47
4.1.1.3.1	Hornos de fundición 47
4.1.1.3.2	Servicio de la línea de colada continua..... 48
4.1.1.3.3	Velocidad de colada..... 48
4.1.1.3.4	Par de reducción 49
4.1.1.3.5	Enrollamiento de la banda 50
4.1.1.3.6	Descripción del automatismo de la 3C840 51
4.1.1.4	Parámetros de operación del proceso 53
4.1.1.4.1	Características misceláneas de la línea IV de colada..... 53
continua de CVG Alucasa	
4.1.1.4.2	Características de los motores de los cilindros de 54
solidificación y laminación de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa	
4.1.1.4.2.1	Características mecánicas 54
4.1.1.4.2.2	Características eléctricas..... 55
4.1.1.4.3	Características del motor del enrollador de la 57
línea IV de colada continua de CVG Alucasa	
4.1.1.4.3.1	Características mecánicas 57
4.1.1.4.3.2	Características eléctricas..... 58
4.1.2	Entrevista con el personal responsable de la línea IV de colada 59
continua de CVG Alucasa	
4.1.3	Diagnóstico de las condiciones actuales de la línea 61
IV de colada continua de CVG Alucasa	
4.1.3.1	Sistema de sensado 62
4.1.3.1.1	Horno de fundición 62

4.1.3.1.2 Motores de los cilindros de solidificación y laminación	62
4.1.3.1.3 Motor enrollador	63
4.1.3.2 Sistema de monitoreo	63
4.2 Fase II	64
4.2.1 Evaluación de los sensores de temperatura	64
4.2.2 Evaluación de los sensores de velocidad de rotación	67
4.2.3 Evaluación de los sensores de intensidad de corriente	71
4.2.4 Identificación y selección de los elementos necesarios para	73
conformar el prototipo electrónico del sistema de medición	
4.3 Fase III	75
4.3.1 Factibilidad económica	75
4.3.1.1 Factibilidad económica de la implementación del	76
prototipo diseñado en la investigación en curso ⁷⁴	
4.3.1.2 Factibilidad económica de no implementar una mejora	77
en el sistema de monitoreo	
4.3.1.3 Factibilidad económica de la implementación de otro	78
sistema de monitoreo remoto disponible en el mercado	
4.3.2 Factibilidad técnica	79
4.3.3 Factibilidad operativa	80
4.4 Fase IV	81
4.4.1 Software	82
4.4.1.1 ThingSpeak - Base de datos	82
4.4.1.2 ESP32 WROOM 32U	83
4.4.1.3 Medición de variables	84
4.4.1.3.1 Hornos de fundición	84
4.4.1.3.2 Cilindros y Enrolladora	85
4.4.2 Hardware	86
4.4.2.1 Conexión	90
4.4.2.2. Implementación Del Prototipo	93

V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
	5.1 Conclusiones.....	101
	5.2 Recomendaciones	104
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
	APÉNDICES	
	APÉNDICE A.....	109
	APÉNDICE B.....	110
	APÉNDICE C.....	111
	APÉNDICE D.....	112
	APÉNDICE E.....	113
	APÉNDICE F.....	114

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO

CUADRO	Pp.
1 Costos e ingresos periódicos de operación de la línea IV de colada..... 61 continua de CVG Alucasa	
2 Costo total y unitario de los componentes que constituyen el prototipo..... 75 del sistema de monitoreo	
3 Pruebas de las variables de interés de la línea IV de colada continua 98 en el servidor de web y en ThingSpeak	

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO

FIGURA		Pp.
1	Componentes de un Arduino Uno.....	12
2	Diagrama básico de acondicionamiento y procesamiento de señales.....	15
3	Características de termopares según su material de unión.....	17
4	Substitución de la temperatura de referencia del punto de hielo.....	17
5	AD594/AD595 Termocupla Tipo J/K.....	18
6	Rango de temperaturas según el material del sensor RTD.....	19
7	Diagrama general de acondicionamiento de un sensor RTD.....	19
8	Tacómetro de corrientes parasitas.....	20
9	Tacómetro de corriente continua.....	21
10	Tacómetro de frecuencia.....	22
11	Diagrama genérico de un sensor de efecto Hall.....	25
12	Sensor de efecto Hall modelo DS-CLAMP-150.....	26
13	Diagrama genérico de un transformador de corriente.....	27
14	Transformador de corriente modelo DS-CLAMP-200AC.....	27
15	Propiedades del Aluminio.....	28
16	Colada giratoria.....	30
17	Colada por inyección.....	30
18	Colada continua.....	31
19	Colada Horizontal, vertical hacia abajo y arriba.....	32
20	Tipos de colada de acuerdo al número de rodillos.....	33
21	Hornos de fundición y de retención.....	45
22	Máquina de colada JUMBO 3C840.....	45
23	Estructura del automatismo de la máquina 3C840.....	52

24	Motores de cilindros de solidificación y laminación	54
25	Motor del enrollador	57
26	Termocupla tipo K del horno de fundición	65
27	Tacómetro dinamométrico del motor del enrollador	70
28	Transformador de corriente del motor del enrollador	71
29	Sensor inalámbrico modelo BB-WSD2C21150 Wzzard™	78
30	Diagrama esquemático del ESP32 WROOM 32U	87
31	Divisor de tensión	90
32	Circuito del prototipo de sensado.....	91
33	Esquema PCB del prototipo de sensado	92
34	PCB en 3D sin conexión de componentes	92
35	PCB en 3D con conexión de componentes	93
36	Montaje del prototipo de sensado	94
37	Lectura de temperatura de horno de fundición con el Honeywell	95
38	Medición de la interfaz web del prototipo de sensado.....	96
39	Grafica de la temperatura de horno de fundición de ThingSpeak.....	97



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE
LAS VARIABLES DE TEMPERATURA DE HORNOS DE FUNDICIÓN, Y
VELOCIDAD E INTENSIDAD DE LOS CILINDROS EN LA LÍNEA IV DE
COLADA CONTINUA EN CVG ALUCASA.**

Autores: Kamal Amer

León Eduardo

Tutor Académico: Ing. Gerson Sánchez

Fecha: marzo 2021

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo llevar a cabo el diseño de un prototipo electrónico para la medición de las principales variables de proceso en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa, es decir la temperatura de hornos de fundición, y la velocidad de rotación e intensidad de línea de sus cilindros. Esto, debido al estado deplorable del sistema de monitoreo actual de dicha planta, cuyas indicaciones erróneas derivan en la parada de la línea de producción, la cual está asociada con grandes tiempos muertos, al tratarse de un proceso térmico. En consecuencia, se efectuó un proceso de investigación a través del cual, se analizó la situación en planta y se entrevistó al personal involucrado para diagnosticar el panorama y establecer, en relación a ello, un proceso adecuado de diseño de un prototipo de sistema de monitoreo remoto y novedoso. Así, esta investigación se trata de un proyecto factible, con un diseño de investigación de campo y documental, en un nivel descriptivo, basado en la Observación Directa, la Revisión Documental y la Entrevista.

Descriptor: Sistema de monitoreo, colada continua, planta de fundición, sensores electrónicos.

INTRODUCCIÓN

Brindar productos de calidad excepcional se lista entre los objetivos de CVG Alucasa, la cual, como cualquier otra industria, no se ha quedado corta en aprovechar cada uno de los avances tecnológicos que han proveído las innumerables ramas de la ciencia, con la finalidad de lograr implementar controles de procesos cada vez más precisos, seguros, confiables y a grosso modo, alcanzar niveles de producción mayores, abriendo la puerta, a su vez, al desarrollo y normalización de nuevas tecnologías. No obstante, lo previamente citado no tiene sentido, si no se efectúa el monitoreo preciso de las variables involucradas dentro de los procesos efectuados por dentro de la planta.

En este caso, se centrará el enfoque en la medición temperatura de hornos de fundición y retención, y de la velocidad de rotación e intensidad de corriente de línea de los motores de los tres cilindros en la línea IV de colada continua de CVG Alucasa (dos cilindros de laminación y uno enrollador), las cuales son magnitudes vitales en los procesos que desempeña, y cualquier falla en la medición o el monitoreo, debido a un sistema obsoleto como el que se tiene, puede derivar en una condición en la que sea necesaria parar la producción mientras se solventa el inconveniente, sin embargo, para una línea de colada continua, esto involucra un tiempo muerto mucho mayor que la mera detención del proceso, tratándose de un proceso térmico. Y en definitiva, detener momentáneamente la producción de una empresa de semejante envergadura, se traduce en pérdidas considerables.

Así, aun cuando en la última década, la tecnología se ha desarrollado exponencialmente, para acceder a esa evolución, hay incontables contratiempos en los países que aún se encuentran en vías de desarrollo, y Venezuela no es la excepción a ello.

Dada esta condición, si bien, se cuentan con numerosas técnicas para medir y monitorear fehacientemente susodichas variables, así como para transmitir las señales de salida de los elementos de medición, se debe tener en cuenta que la solución propuesta debe otorgar resultados precisos a la hora de indicar los valores a medir, tener la posibilidad de comunicarse remotamente con los elementos indicadores asociados al proceso y por último, pero no menos importante, basarse en tecnología novedosa, eficaz y accesible.

En tal sentido, el trabajo que a continuación se presenta contempla:

Capítulo I: El problema, en este, se describe detalladamente la realidad insatisfactoria que precisa de una mejoría, valiéndose entonces, del planteamiento del problema, su formulación, los objetivos generales y específicos de la investigación, así como su justificación, alcance y limitaciones.

Capítulo II: Marco teórico, donde se establece la estructura conceptual, legal y teórica, con apoyo de investigaciones previas que amplían la perspectiva de los investigadores. Contiene los antecedentes, las bases teóricas y legales, así como la definición de términos básicos.

Capítulo III: Marco Metodológico, en el cual se establecen las características de la investigación, al igual que todas las técnicas e instrumentos a utilizar. Contiene el tipo, diseño y nivel de la investigación, su población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y finalmente, las fases de la investigación

Capítulo IV: Resultados, siendo este el apartado donde se detalla el desarrollo y el cumplimiento de cada una de las fases metodológicas del proyecto, contemplando en consecuencia, el planteamiento tanto de las conclusiones, como de las recomendaciones respectivas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El tratamiento térmico conforma los procesos que modifican total o parcialmente las características, propiedades mecánicas y la estructura metalográfica de un metal, para obtener las diferentes aleaciones que conforman distintos metales. Esto se logra a través del delicado control de calentamiento y enfriamiento del metal.

Por su parte, el aluminio es un metal no ferroso, que se extrae de la bauxita, y es el segundo metal más usado en la industria metalmeccánica. Por su parte, CVG Alucasa es una empresa transformadora de aluminio ubicada en Guacara, estado Carabobo, Venezuela. Y es la primera organización venezolana de productos laminados y foil de aluminio, con el más alto valor agregado, gracias a los estrictos indicadores de calidad considerados durante las fases en las que se estructura el proceso de transformación del aluminio dentro de la empresa, que son la fundición y colada, laminación gruesa, laminación fina, acabado y empaque.

De esta forma, la fundición y colada de aluminio, implica el vertido en un molde hueco (generalmente de arena) de una cierta cantidad de metal fundido, con la finalidad de producir piezas metálicas. La colada o vaciado, permite darle forma al líquido fundido al molde. Así, en la zona de fundición de la empresa, existen cuatro líneas de colada continua, donde actualmente se registran las variables de temperatura de hornos de fundición y retención, y de velocidad de rotación e intensidad de corriente de línea de los cilindros laminadores y del enrollador, a través de indicadores locales obsoletos.

Al respecto es importante aclarar que cualquier valor de lectura de esas variables incide en la parada de la línea de producción, debido al delicado ciclo que

conforma la fundición y colado del aluminio, donde un nuevo arranque del proceso implica un riguroso y exhaustivo trabajo para el control de las variables, esto ocasiona que demore aproximadamente cuatro horas para poder reiniciar el sistema, y por ende son reflejadas en términos de producción, y pérdidas anuales que trascienden los 200.000 dólares.

1.2 Formulación del Problema

De acuerdo a lo planteado, se prosigue a formular la siguiente interrogante: ¿Qué tecnología novedosa, remota, accesible y confiable se podría implementar para el diseño de un sistema de monitoreo de la temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua de la planta CVG Alucasa?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones actuales de las áreas de interés de la planta para el diseño del prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.
- Identificar los componentes y elementos del prototipo electrónico para la medición de las variables de interés en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.
- Evaluar la factibilidad económica, técnica y operativa del prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

- Implementar y probar el prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros, de acuerdo a las magnitudes de las variables de proceso a las que opera la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

1.4 Justificación de la Investigación

Mediante el diseño de un prototipo electrónico para medición de las variables de temperatura de hornos de fundición y retención, y de la velocidad de rotación e intensidad de línea de los motores de los dos cilindros de laminación, y el del enrollador en la línea IV de colada continua, se busca encontrar una solución al problema que afronta la línea de producción en CVG Alucasa, con la finalidad de sustituir los equipos actuales de monitoreo de las variables mencionadas, al ser obsoletos. Pues la medición imprecisa de los parámetros de interés provoca la parada del proceso de fundición, que, para ser reiniciado, requiere de aproximadamente cuatro horas, por ende, la compañía, constantemente afronta pérdidas cuantiosas, que incrementan la carga laboral, tanto como la incertidumbre respecto a recortes de personal. Adicionalmente, al ser un sistema remoto, incrementará la seguridad en la planta y simplificará el monitoreo.

Esto es importante debido a que permite detectar fácilmente si las variables de proceso de la línea IV de colada continua, se encuentran dentro de los rangos nominales, y que, en caso de no estarlo, el personal responsable llevará a cabo las acciones de respuesta. Aunado a esto, y extrapolando la premisa del proyecto, otro punto que se busca con esta investigación, es el de concientizar sobre la importancia de una medición precisa y exacta dentro de cualquier proceso, pues es la base sobre la cual se sustenta todo el desempeño y la seguridad del sistema.

En el mismo orden de ideas se destaca que este trabajo servirá de apoyo a posteriores investigaciones en diferentes niveles donde la temática guarde relación con la medición e indicación remota de variables a nivel industrial en general, pues se instan a considerar lineamientos de eficacia y durabilidad para dichos dispositivos

sensores e indicadores, e incluso, fungir como ejemplo de lo vital que resulta tener en cuenta la rentabilidad de un proyecto electrónico cualquiera.

1.5 Alcance

El alcance que presenta el proyecto está dirigido a efectuar el diseño de un prototipo que permita medir la temperatura del horno de fundición y el de retención, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua de las instalaciones de CVG Alucasa, planteando una alternativa más eficiente y moderna para el monitoreo de dichas magnitudes con respecto al sistema actual implementado en la línea mencionada, a través de un dispositivo indicador remoto, duradero, económico, y de alta fidelidad.

En este mismo orden de ideas, el prototipo se encarga de acondicionar, procesar, e indicar los valores típicos de la temperatura de los hornos, velocidad de cilindros de laminación y enrollado, y la intensidad de los mismos, permitiendo determinar si estos se encuentran o no dentro de las magnitudes propicias para la línea IV de colada continua en CVG Alucasa, sin contemplar los procedimientos y equipos necesarios para controlar las variables en cuestión.

Así, el alcance del diseño final es tal, que puede implementarse el prototipo electrónico, permitiendo procesar las señales eléctricas de las variables citadas, siempre y cuando se cumplan con las condiciones ambientales de los requerimientos operacionales, y en función de sus valores nominales de trabajo. Siendo de suma relevancia destacar, que la presente propuesta supone una referencia para la posterior la implementación de dicho prototipo a cargo de la compañía CVG Alucasa, en función de las necesidades particulares concernientes a los procesos que llevan a cabo en sus líneas de producción. Por ende, la investigación no abarca los pasos a seguir para la instalación y colocación del dispositivo.

1.6 Limitaciones

Por su parte, es pertinente considerar otras limitaciones, tales como las temporales, pues el desarrollo del proyecto dentro de un lapso aproximado de ocho meses, tiende a limitar el rango de acción de los investigadores; suponiendo un factor

estrechamente relacionado con el ámbito sanitario, del que derivan las limitaciones producto de la pandemia mundial debido al COVID-19, pues esta dupla de elementos, complican la movilización pertinente para las visitas a planta para efectuar la investigación necesaria para la realización del proyecto, así como para la adquisición de los componentes e insumos necesarios para materializarlo. A todo ello, debe aunarse que la ventana de acción de los investigadores se ve aún más reducida debido a otras cuestiones, tal como lo es la dependencia de la disponibilidad en el cronograma del personal de la planta de CVG Alucasa, para programar las visitas a la línea de producción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El marco teórico conforma la base sobre la cual se sustenta un trabajo de investigación, pues, una vez identificado un problema y definidos los objetivos del estudio, permite efectuar una descripción detallada de susodicha situación, magnificando la visión con la que se aborda un tema sin perder el enfoque. Tal como establecen Palella y Martins (2012), “el marco teórico es el soporte principal del estudio. En él se amplía la descripción del problema, pues permite integrar la teoría con la investigación y establecer sus interrelaciones” (p. 62).

2.1 Antecedentes

Tal como establecen Tamayo y Tamayo (2004), “en lo antecedentes se trata de hacer una síntesis conceptual de las investigaciones o trabajos realizados sobre el problema formulado con el fin de determinar el enfoque metodológico de la misma investigación” (p. 146). Esto provee a los investigadores una guía sobre cómo se ha abordado una determinada problemática en instancias previas, enriqueciendo sus perspectivas y reduciendo las probabilidades de incurrir en errores.

Altuzarra, C., y Pacheco, J. (2020), desarrollaron un trabajo de grado para optar al título de ingenieros electrónicos, llevando por título **“Dispositivo electrónico para el monitoreo de la variable viscosidad en los lubricantes de la empresa Grupo RYV”**, en la Universidad José Antonio Páez, con el objetivo de proponer el diseño de un dispositivo electrónico para monitoreo de la variable viscosidad en los lubricantes de la empresa Grupo RYV. Siendo este un proyecto especial, con base en una investigación de campo y documental cuya muestra es el aceite mineral 20/50, que es el preferido por los clientes de la gama de aceites automotrices comercializados por susodicha compañía. En este, luego de realizar el diagnóstico técnico y de mercado

correspondiente, se procedió a efectuar las labores de propuesta del diseño del monitor de viscosidad, apuntando a la factibilidad operativa, técnica y económica.

Este proyecto supone un gran apoyo, pues aun cuando no se centra en las mismas variables que la investigación actual, sí contempla el proceso de desarrollo de un sistema electrónico de monitoreo a nivel industrial, lo cual permite disponer de un patrón en el cual apoyarse en cuanto al seguimiento de las consideraciones generales de modelado de este tipo de circuitos, con un enfoque en la factibilidad de su implementación.

Por otro lado, Romero, W. (2018), efectuó una investigación documental que lleva por título **“Fabricación de cilindros de aluminio y su transformación en perfiles mediante el proceso de extrusión”**, en la Universidad Católica Andrés Bello. En ella, se detalló teóricamente todo el procedimiento de fabricación de cilindros con aleaciones de aluminio de la serie 6000, abarcando desde el tratamiento y la preparación de los materiales y aleaciones empleadas, hasta propiamente, el proceso de extrusión de los mismos. Esto proporciona una visión generalizada sobre el desempeño de una planta cuya producción se sustenta en una línea de colada continua de aluminio, garantizando la especialización del sistema de monitoreo a proponer.

De forma complementaria, Wandurraga, M., y Nieto, J. (2016), llevaron a cabo un trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de ingenieros mecánicos, titulado **“Diseño y construcción de un prototipo de horno para la realización del proceso Stir casting con aleaciones de aluminio”**, en la Universidad Abierta de Colombia. Resultando en una investigación exploratoria, de tipo cuantitativa, cuyo objetivo era diseñar y construir un prototipo de horno para la realización del proceso de Stir casting con aleaciones de aluminio, alcanzando luego de su culminación, una comprensión total de la estructura y funcionamiento de los hornos de fundición en general, así como los métodos, materiales y diversos criterios para la consecuente materialización de dicho prototipo.

La consideración de esta investigación es vital para la realización del presente proyecto, pues a pesar de centrarse en el diseño y construcción de un horno de fundición de aluminio, hay todo un proceso de recopilación de información referente al tema, que incluye la teoría general respecto a su estructura general, parámetros de funcionamiento y materiales de construcción, aunado a que, como en el diseño se precisa de un controlador de temperatura que permita manipular la misma, se cuenta con un elemento sensor (termocupla) para monitorear su valor. Esto plantea una idea sobre el rango de los valores de operación y características adicionales con las que deben contar los instrumentos a utilizar para la propuesta de diseño del sistema de monitoreo electrónico de las variables en la línea IV de colada continua de Alucasa.

2.2 Bases Teóricas

Arias (2012), define que “las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado” (p. 107). Por ello, la revisión y estudio de estos paradigmas es vital para sistematizar una descripción del problema en cuestión. A continuación, se presentan las bases teóricas que sustentan la investigación en curso.

2.2.1 Señal eléctrica

Una señal generada por fenómenos electromagnéticos, definida por una diferencia de tensión entre dos puntos cargados eléctricamente o la variación de la corriente fluyendo a través de un conductor en el transcurrir del tiempo. Se pueden distinguir en dos grandes tipos, las analógicas y las digitales.

Las señales continuas, son aquellas que varían continuamente en el tiempo, Por otro lado, se tienen las señales eléctricas digitales, en que cada signo que codifica su contenido se analiza en términos de magnitudes indicadoras de valores discretos, conmutando casi instantáneamente de una polaridad positiva a una negativa, generando una forma de onda cuadrada simétrica.

2.2.2 Sistemas electrónicos

Se definen los sistemas electrónicos como el conjunto de elementos eléctricos (en su mayoría semiconductores) correlacionados entre sí, que cumple con la función de recibir y captar información del mundo exterior (a través de sensores), acondicionarla y procesarla en forma de señales eléctricas, para cumplir uno o más determinadas funciones a través de actuadores.

2.2.3 Microcontrolador

Es un circuito integrado electrónico de alta escala de integración, siendo un procesador con un sistema mínimo en un chip. Se emplea para el gobierno de uno o varios procesos, puede ser programable, y es vista como una pequeña computadora contenida en el chip. Puede ser programado y compilado a través de aplicaciones de escritorio, por medio de lenguajes tipo Ensamblador, u otros superiores como C++.

La arquitectura básica de un microcontrolador es la siguiente:

- Procesador o CPU (Unidad central de proceso): el elemento más importante, y es el núcleo que interconecta tanto hardware y software. Es el encargado de llevar acabo todas las instrucciones a realizar, tanto codificación, como decodificación, asignación de dirección de memoria y muchas otras.
- Memoria: tiene una parte no volátil de solo lectura (memoria ROM, OTP, EPROM, EEPROM y FLASH), el cual contiene las instrucciones que gobierna el programa y una parte volátil donde se almacenan todas las variables, y datos destinados a guardarse.
- Periféricos: definido por todos los temporizadores, contadores, comparadores, conversores A/D y D/A, puertos de entradas y salida, puertos de comunicación, y muchas más variedades que cambian con el tipo de microcontrolador a emplear.

2.2.4 Arduinos

Un Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software de fácil implementación para la creación y diseño de proyectos

electrónicos. Existe una variedad de Arduinos, pero el elemento en común de todos estos es su microprocesador, que además puede ser reprogramable, en adición, cada Arduino tiene un conjunto de dispositivos y elementos que se le pueden conectar externamente (sensores, LEDS, protocolos de comunicación, luces, interruptores y entre muchos otros).

Para programar un Arduino se debe utilizar un software de aplicación de escritorio llamada Arduino IDE que conforma un ambiente de desarrollo. Es multiplataforma es decir puede ejecutarse en Windows, MAC OS X y Linux. El entorno de trabajo está basado en Java, y usa una versión de C++ simplificada, lo cual lo hace fácil de aprender. Al realizarse el código es cargado por medio de un cable USB.

2.2.4.1 Tipos de Arduinos

- Arduino Uno: es el tablero ideal para principiantes en el uso de Arduino, muy empleado para la simulación básica de sensores y actuadores. Es uno de los más documentados y usados de la familia. Tiene 14 pines de entrada y salida digitales, seis para entradas analógicas y con un oscilador cristal de 16 MHz, con conexión USB, con conector de alimentación, ICSP y botón de reseteo. En la Figura 1, se identifica y describe el funcionamiento de los componentes y elementos de un Arduino Uno.



Figura 1: Componentes de un Arduino Uno

Fuente: Maker Spaces (2017)

A continuación, se identifican las partes del Arduino Uno de la figura 1.

1. Reset Button (Botón de reseteo): Inicia y reinicia cualquier código cargado del Arduino.
 2. AREF: es el pin para la referencia analógica, o para la referencia externa de la fuente de voltaje.
 3. Ground Pin (pin de tierra): existen varios pines que pueden funcionar como tierra.
 4. Digital Input/Output: Pines de entrada y salida digital, de 0 a 13.
 5. PWM (modulación por banda de pulsos): indicado con un símbolo de ~.
 6. USB connection: se puede usar para cargar el código o para energizar.
 7. TX/RX: transmisión y recepción de data por medio de LEDs.
 8. ATmega Microcontrolador: el cerebro del Arduino y donde están almacenado los programas.
 9. Power LED indicator: indicador led de la energización de la fuente de poder.
 10. Voltage Regulator: Controla y regula el voltaje de la fuente al Arduino.
 11. DC Power Barrel Jack: conexión principal para energizar el Arduino.
 12. 3.3V Pin: fuente de 3.3 Voltios para el proyecto.
 13. 5V Pin: fuente de 5 Voltios para el proyecto.
 14. Grounds Pins: pins adicionales de tierra.
 15. Analog Pins: son los pines de entrada y salida analógica.
- SeeedunoV4.2: es similar al Arduino Nano, pero siendo más económico y con muchas más funciones, tiene un switch para el cambio de la fuente de alimentación, 3.3V y 5V y usa un convertidor DC a DC.
 - Seeeduno Nano: es una versión similar pero más pequeña del al Arduino Uno y el Seeeduno V4.2.
 - Seeeduno Mega (ATmega2560): es la versión grande Seeeduno V4.2, con 15 entradas analógicas, 60 digitales de entrada y salida, 14 PWM, 4 puertos seriales para otros dispositivos.

2.2.5 Internet de las cosas

También conocido por su acrónimo en inglés (IoT), se define como aquella interconexión de distintos dispositivos a través del internet, lo cual les permite interactuar entre sí de forma autónoma, como lo suele ser un conjunto de sensores a nivel industrial o doméstico, que al conectarse mediante una red, pueden ser gestionados por otros dispositivos sin la necesidad de intervención humana, estableciéndose entonces una interacción de máquina a máquina.

2.2.6 Sensor

Un sensor puede definirse como cualquier elemento o dispositivo que detecta y mide una determinada variable externa, cuantificándola por distintos tipos de dispositivos eléctrico-mecánicos, electrónicos y neumáticos. Existe una magnitud amplia de sensores que miden distintas variables físicas, entre las más comunes: Temperatura, Humedad, Presión, Posición, Movimiento, Caudal, Luz, Imagen, Corriente, Conductividad y entre otros.

Los sensores como elemento electrónico básico, deben ser adaptados a un sistema de adquisición, adaptación y control de señales (Ver Figura 2). Los adaptadores utilizados se basan en amplificadores operacionales que cumplen la función de acondicionar la señal, convirtiendo las señales analógicas o digitales que provienen del elemento de sensado, posteriormente es procesado con DSP o un microcontrolador (integrado por ejemplo, en un Arduino), para la salida, dependiendo de la función será pasado por un convertidor digital o analógico.

Figura 2: Diagrama básico de acondicionamiento y procesamiento de señales

Fuente: Mayné, Jordi. (2003).

2.2.6.1 Tipos de Sensores de Temperatura

- Termómetros de vidrio: son sensores mecánicos que miden la temperatura a través de la expansión de un depósito de vidrio o tubo capilar por efecto de la temperatura. Su margen de operación depende de los fluidos empleados, pero de cualquier forma, en general no suelen ser muy extensos, siendo algunos casos a destacar, los de los termómetros de mercurio (de $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $+280\text{ }^{\circ}\text{C}$), donde si se emplea un tubo capilar lleno de gas se tiene un mayor intervalo (desde $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Termómetros bimetalicos: están conformados por dos metales laminados de forma recta, curvas, espirales o hélices, y cada material tiene una dilatación distinta, que por efecto de la temperatura tienden a ondularse de un lado u otro dependiendo de dicha temperatura percibida. Así, es utilizado en un rango de temperaturas de 0 a 400

- **Semiconductores:** son también conocidos como termistores, y son aquellos en los que se utiliza el efecto de la temperatura de saturación que tiene un semiconductor, por ejemplo, de la relación de PN, PNP o NPN, por cada cambio mínimo de temperatura se ve reflejada en la corriente. Y las funciones de transferencia son proporcionales a la temperatura en K, °C, o °F. Además, utiliza un convertidor en su salida para emitirla en formato digital, tiene una sensibilidad de 10 mV/°C y una exactitud de ± 1 °C dentro del rango de -55 °C a 150 °C.

Están caracterizados por un coeficiente de temperatura negativo o NTC, donde la resistividad disminuye cuando aumenta la temperatura. Estos suelen ser coeficientes elevados, presentando variaciones rápidas para cambios pequeños de temperatura.

- **Termopares:** estos basan su funcionamiento en que, gracias a la conexión de dos materiales de diferente isoterma en contacto térmico, se genera una diferencia de potencial eléctrico, que corresponde a la temperatura percibida, esto varía dependiendo de los materiales usados. También son baratos y robustos, con una alta durabilidad y estabilidad (Ver Figura 3).

Por otro lado, responden de una forma rápida a los cambios de temperatura, con una linealidad y exactitud razonable, pero es necesario el acondicionamiento de la señal. Aunado a ello, la principal desventaja del termopar es su necesidad de “compensación de cero”, donde se necesita un medidor externo de la temperatura ambiente (Ver Figura 4).

Material de unión	Rango Típico (°C)	Sensibilidad °C	Abreviación
Pt(6%)/Rodio - Pt(30%)/Rodio	38 a 1800	7,7	B
Tungsteno(5%)/Renio- Tungsteno(26%)/Renio	0 a 2300	16	C
Cromo - Constant	0 a 982	76	E
Hierro - Constant	0 a 760	55	J
Cromo - Aluminio	-184 a 1260	39	K
Pt(13%)/Rodio - Pt	0 a 1593	11,7	R
Pt(10%)/Rodio - Pt	0 a 1538	10,4	S
Cobre - Constant	-184 a 400	45	T

Figura 3: Características de termopares según su material de unión

Fuente: Mayné, Jordi. (2003).

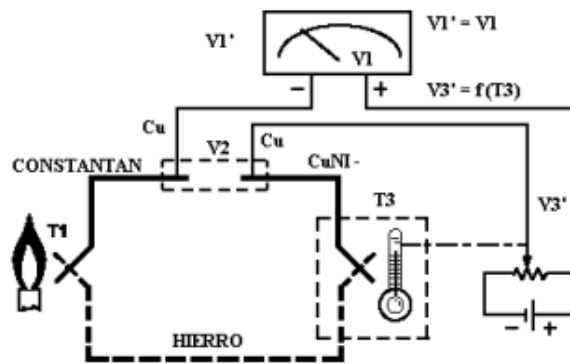


Figura 4: Substitución de la temperatura de referencia del punto de hielo

Fuente: Mayné, Jordi. (2003).

Acondicionadores de señal para Termopares. AD594/AD595: existen circuitos integrados acondicionadores de la marca Analog Devices para termopares, como el AD594/AD595, mostrado en la Figura 5 para termopares tipo J, y K, respectivamente; que tienen un amplificador de instrumentación y un compensador lineal, y proporcionan una salida de alarma de rotura o desconexión del termopar, se alimenta a +5V y suministra una salida de 10mV/°C.

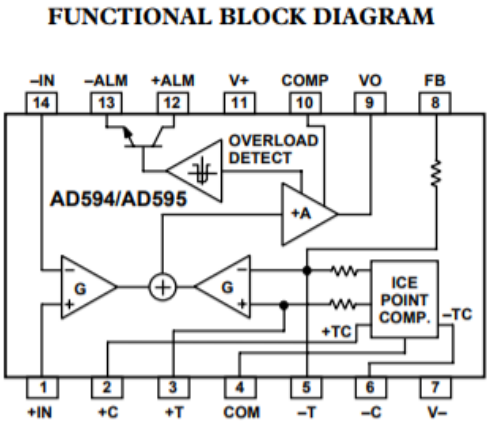


Figura 5: AD594/AD595 Termocupla Tipo J/K

Fuente: Analog Devices. (1999).

- Resistivos: los constituyen las RTD o detectores de temperatura por resistencia, que miden la temperatura de un conductor, basándose en la variación de la resistividad del mismo, generalmente conformados por hilos de platino, cobre, o níquel, cuyo funcionamiento se describe mediante una variación lineal con un coeficiente de temperatura positivo (o sea, un aumento de la temperatura se corresponde con un incremento de la resistencia).

Como ya se mencionó, los dispositivos RTD pueden ser de distintos materiales, los más comunes son de Platino, lo cual permite una resistencia típica de entre

rangos de temperatura de -200°C y 850°C . Así, un RTD (de platino, y entre los

En la

Figura 6 se pueden observar los distintos materiales.

Material	Rango de temperatura (C)	Variación coef(%/ C a 25 C)
Platino	-200 a 850	0,39
Níquel	-80 a 320	0,67
Cobre	-200 a 260	0,38
Níquel-acero	-200 a 260	0,46

Figura 6: Rango de temperaturas según el material del sensor RTD

Fuente: Mayné, Jordi. (2003).

En los acondicionadores de señal para las RTD, se puede acondicionar la señal que recibe por medio de un arreglo de amplificadores operacionales con un amplificador de instrumentación, cuyo diagrama genérico se puede apreciar en la Figura 7.

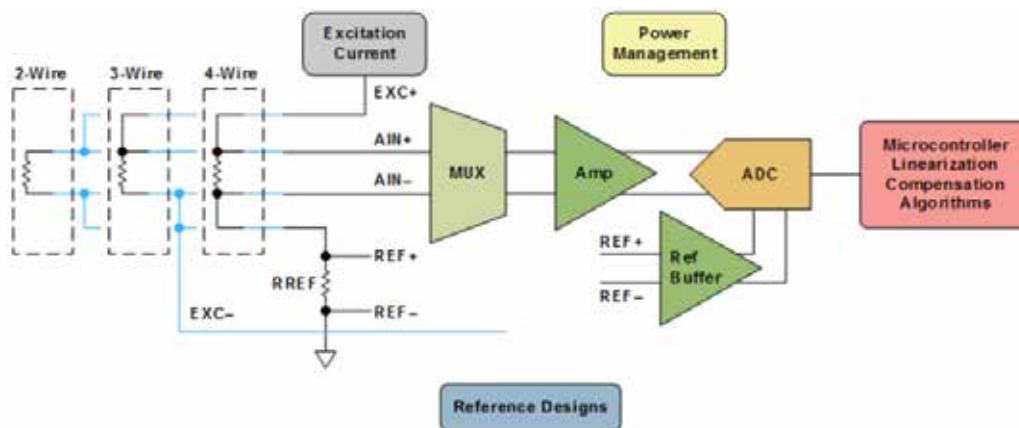


Figura 7: Diagrama general de acondicionamiento de un sensor RTD

Fuente: Analog Devices. (2021).

2.2.6.2 Tipos de sensores de velocidad de rotación

1. Tacómetro mecánico: detecta el número de vueltas del eje de la maquina o componente giratorio en posición a su eje, por medio de un sistema mecánico, que puede adicionar o no la medición del tiempo, para determinar el número de revoluciones por minuto (R.P.M) y la frecuencia con que realiza las rotaciones.

Así, la medición la realiza en contacto directo a través de un adaptador mecánico, mientras que su calibración consiste en el ajuste de los engranajes y posición de los mismos, por lo que es necesario un agente especializado para garantizar la efectividad del mismo.

2. Tacómetro eléctrico: capta la velocidad en RPM y su frecuencia por sistemas eléctricos, en la mayoría de la industria y aplicaciones generales, es el tipo utilizado ya que permite la salida directa de las señales eléctricas, por lo que lo hace más adaptable a cualquier sistema. Se tienen entonces:
 - Tacómetro de corrientes parasitas: está conformado por un imán permanente acoplado en una copa de aluminio en su eje (Ver Figura 8), que al girar la maquina induce unas corrientes parasitas en el aluminio proporcionales a la velocidad medida, cuyo rango de medición suele ir de 0 a 15000 R.P.M.

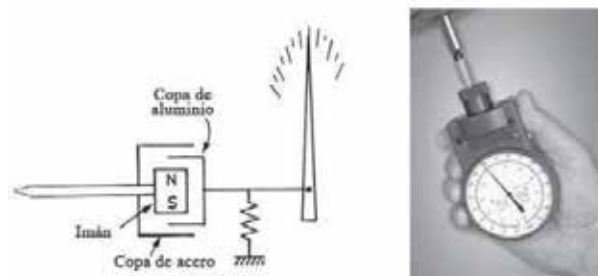


Figura 8: Tacómetro de corrientes parasitas

Fuente: Creus Solé, A. (2010).

- Tacómetro de corriente alterna: esencialmente, sigue el principio de operación de un motor de inducción bifásico de jaula de ardilla, o sea, tiene un rotor con un imán permanente que gira dentro de un estator embobinado multipolar, lo cual induce una corriente alterna proporcional a la velocidad de rotación.

- Tacómetro de corriente continua o dinamo tacométrico: su funcionamiento se asemeja al de un dinamómetro, pues tiene un imán permanente en el estator y un rotor con entrehierro uniforme, y al girar su eje a través de un acoplador (Ver Figura 9), genera una corriente de tensión continua en las escobillas del rotor proporcional a la velocidad de giro. Finalmente, suele tener una exactitud en la medida de $\pm 0,5\%$ a velocidades de hasta 6000 R.P.M.

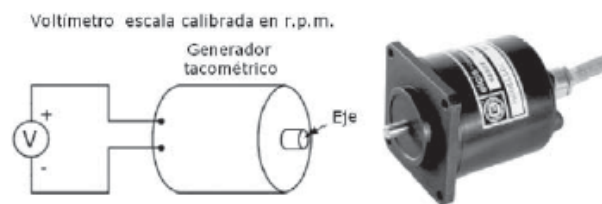


Figura 9 Tacómetro de corriente continua

Fuente: Creus Solé, A, (2010),

- Tacómetro incremental: este mide la frecuencia de una señal de corriente alterna, empleando un sensor de proximidad, magnético, o capacitivo, dispuesto en cercanía al componente móvil (que puede ser un diente de engranaje, por ejemplo).

En el caso de los de tipo magnético-resistivo, por ejemplo, la medida se basa en un material conductor de corriente que cambia su resistividad en presencia de un campo magnético externo, detectando la velocidad por cambios de centésimas de milímetros en el movimiento de las piezas. Así, el número de impulsos de salida es:

—

Donde D es el diámetro del disco (Ver Figura 10), y A , el ancho de cada sector codificado. Suelen tener una exactitud de $\pm 0,1\%$ en un rango de velocidad de 0,01 RPM, a 120000 RPM, y un rango de salida de 0 a 10 Vcc.

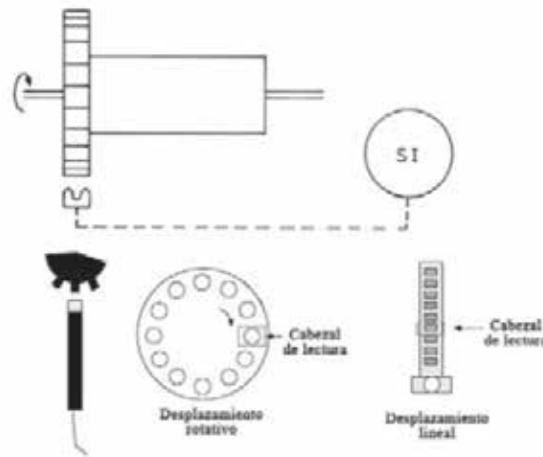


Figura 10: Tacómetro de frecuencia

Fuente: Creus Solé, A, (2010),

Cabe agregar que también hay tacómetros de frecuencia absoluta, los cuales dependen de un sensor óptico, lo que implica que la señal DC en la salida, se codifica con respecto a la posición de un elemento móvil (regla o disco), en función a una referencia interna. De las que se tienen varias pistas, donde cada una representa un bit de salida y zonas diferenciadas con un sistema de codificación de código binario natural (para la indicación de velocidad), BCD (para las comunicaciones), o Gray (para la identificación de la posición).

2.2.6.3 Tipos de sensores de intensidad de corriente

1. Amperímetros convencionales: son aquellos que, para efectuar la medición, se requiere abrir el circuito, y conectar al amperímetro en serie. A grosso modo, un amperímetro consiste en un galvanómetro que permite sensar corrientes de baja

magnitud, y resistencias conectadas en modalidad shunt. Y según su principio de operación, estos equipos se dividen en los que se presentan a continuación:

- Analógicos: se basan en la medición indicada a través de una aguja cuya posición depende del valor medido de corriente, como los siguientes:

Magnetoeléctricos: estos, dado que se constituyen por con una bobina móvil fabricada con hilo sumamente delgado, así como con espiras de dimensiones reducidas, suelen efectuar mediciones en el rango de los miliamperios, aunque los intervalos de medición se pueden extender un poco a través de la conexión de resistencias de derivación adicionales (siendo 100 mA, el límite común). Esto último es de hecho, bastante común en los amperímetros convencionales, que tienen contacto con la corriente en general, pues, permite aumentar el rango de medición máximo.

Electromagnéticos, son unos de los más usados, y suelen efectuar las mediciones basadas en las interacciones entre los campos magnéticos y las corrientes eléctricas, o en los efectos térmicos producto de ello. Así, se tienen por un lado, los amperímetros de cuadro móvil (que funcionan gracias a una bobina que se coloca entre los dos polos de un imán, de forma que cuando la corriente fluya a través de ella, se apreciará la aparición de un par de fuerzas que desplazará la bobina de forma proporcional a la magnitud de la corriente).

También se tienen, los amperímetros electrodinámicos, donde se emplean bobinas fijas unidas a una móvil, de tal manera que la desviación en la posición de esta última, resulta proporcional al cuadrado de la corriente.

En los amperímetros de hierro móvil, por su parte, el campo es originado por una bobina, pero se tiene como pieza móvil a una pieza de hierro dulce acoplada a un resorte recuperador, lo cual, en función del

movimiento del trozo de hierro, permite determinar el valor de la corriente.

Finalmente, los amperímetros térmicos, funcionan basados en la dilatación de un conductor (una resistencia eléctrica), ya que en conformidad con la ley de Joule, dicha dilatación es proporcional al calor, que a su vez lo es al cuadrado de la corriente. Y a medida que se calienta el conductor por el paso de la intensidad, esta pasa también por un par termoeléctrico, que estando conectado a un galvanómetro, permite efectuar la medida.

- Digitales: en línea general, se basan en una resistencia de derivación, que permite producir una diferencia de potencial eléctrico calibrada de tal manera que sea proporcional al flujo de corriente, dicha tensión, se mide entonces con un medidor digital, mediante el uso de un convertidor analógico digital (ADC), para luego mostrar en una pantalla digital, la medida de la corriente a través del ramal existente.
2. Medidores de campos electromagnéticos o flujos de corriente: considerando que la corriente genera un campo magnético proporcional a ella misma, se puede medir dicho campo para poder determinar el valor de la corriente, algunos de los medidores más relevantes basados en este esquema son:

Sensor de efecto Hall: funcionan con base en el efecto descubierto por el físico estadounidense Edwin Hall, quien observó que cuando la corriente fluye a lo largo de un conductor, los electrones presentan un movimiento en línea recta, no obstante, si el conductor se aproxima a un campo magnético, que fluye en dirección perpendicular al sensor, actuará la fuerza de Lorentz, lo cual desviará a los electrones en una trayectoria curva, generando que una mayor cantidad de electrones se concentren en un lado del conductor, lo que produce una diferencia de potencial directa y linealmente proporcional a la

fuerza del campo magnético, y conociendo la magnitud de este último, se puede medir el valor de la corriente en el conductor.

Del mismo modo, las pinzas de corriente de efecto Hall funcionan haciendo pasar el conductor de interés a través de su núcleo abierto, un esquema de ello se puede apreciar en la figura 11, proporcionando una forma de medición de corrientes AC y DC sin contacto.

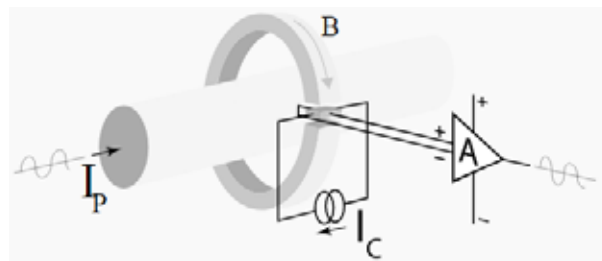


Figura 11: Diagrama genérico de un sensor de efecto Hall.

Fuente: Maloy, G, (2020).

Siendo algunos ejemplos de sus rangos operacionales los modelos DS-CLAMP-150 (que se visualiza en la figura 12), capaz de medir 200 A DC o 150 A AC rms, con una precisión de $\pm 1\% + 2\text{ mA}$; y el DS-CLAMP-1800DC, que mide 1800 A DC o AC rms, cuya precisión es de $\pm 2,5\%$ entre 0 y 1000 A, de $\pm 3,5\%$ entre 1000 A y 1500 A; y $\pm 5\%$ de 1500 A hasta 1800 A. Así, no son tan precisos como otros medidores de corriente, pero ofrecen un amplio rango de medición, y también debe considerarse que requieren de una pequeña fuente de alimentación para funcionar.



Figura 12: Sensor de efecto Hall modelo DS-CLAMP-150.

Fuente: Maloy, G, (2020).

- Transformador de corriente: también conocidos como CTs, se emplean para efectuar la medición de corriente alterna, y constan de sensores inductivos conformados por un devanado primario, de pocas vueltas, conectado en serie al sistema cuya corriente interesa medir; un núcleo magnético; y un devanado secundario de muchas vueltas con respecto al primero, pues esta relación de vueltas entre devanados, es la que permite que, esencialmente, una corriente de gran magnitud, se transforme en una de menor amperaje, utilizando un portador magnético, lo que hace posible la medición de las primeras de manera segura y eficiente.

También, normalmente se conecta una resistencia de carga a través del secundario, con la finalidad de producir voltaje de salida proporcional al valor de la resistencia, según la cantidad de corriente que fluye a través de ella, y facilitar el proceso de medición, como se aprecia en el diagrama genérico de la figura 13.

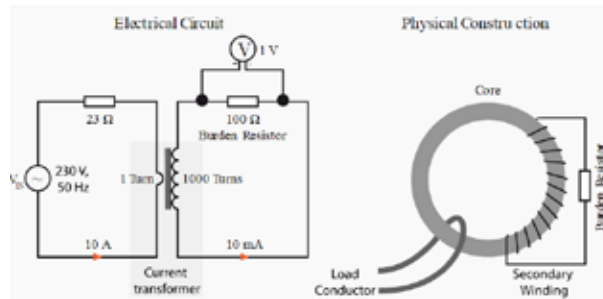


Figura 13: Diagrama genérico de un transformador de corriente.

Fuente: Maloy, G, (2020).

Algunos modelos de este tipo de sensores son el DS-CLAMP-200AC (ver la figura 14), con un rango de 200 A AC, y una precisión de $\pm 1\%$ el intervalo de 100 A hasta 240 A, de $\pm 2,5\%$ para corrientes entre 10 A y 100 A, y de $\pm 3,5\%$ para corrientes entre 0,5 A y 10 A.



Figura 14: Transformador de corriente modelo DS-CLAMP-200AC.

Fuente: Maloy, G, (2020).

2.2.7 Acondicionamiento de una señal

El acondicionamiento de señal es un proceso de adquisición de datos que condiciona y adapta una señal de entrada, por métodos de amplificación, linealización y conversión, para obtener medidas con mayor precisión y exactitud,

2.2.8 El aluminio

El aluminio (Al) es un elemento químico, uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre, constituye una proporción de 8 a 15% aproximadamente, Se extrae de la bauxita y la criolita, Principalmente se extra de la bauxita ya que contiene en un 50% la alúmina, además de otros minerales importantes. Su extracción se efectúa en tres etapas, minería, refinación y reducción,

La característica más importante del aluminio es su capacidad de ser reciclado y reutilizado casi un 100%, por lo que su vida útil es considerada como ilimitada, sus propiedades básicas se observan en la Figura 15.

Propiedades	Aluminio
No Atómico	13
Valencia	3
Densidad	2,7
Masa Atómica (g/mole)	26,9815
Electronegatividad	1,5

Figura 15: Propiedades del Aluminio

Fuente: Alu Stock. (2021).

2.2.9 Proceso de fundición

Uno de los procesos de manufactura de las industrias más empleado es la fundición, que, por medio de hornos de fusión, permite que un metal llegue hasta el punto de fusión, y así, este fluya a través de la gravedad u otra fuerza para ser solidificado y adaptado en un molde.

El proceso de fundición puede sustentarse en moldes permanentes o desechables. Si son desechables, se destruyen para sacar la pieza fundida, por lo que tiene bajas velocidades de producción (como los moldes de arena). Usando moldes permanentes, no es necesario destruirlos, ya que son fabricados en un material duro, esto permite mayores velocidades de producción.

- **Parámetros importantes**

Calentamiento del metal: existe una variedad de hornos de fundición basados en el uso industrial específico del mismo, de acuerdo al volumen, calidad y temperatura necesaria para la fundición del metal. Se puede clasificar, por medio del calentamiento del horno:

Hornos eléctricos: se calientan por medio de arcos eléctricos directos o indirectos, por inducción o elementos resistivos.

Hornos de combustión: se calienta por un combustible sea sólido, líquido o gas. Puede transferir el calor de forma directa o indirecta.

Hornos de crisol: se calienta por medio de la combustión de un elemento como gas, se utiliza sobre elementos no ferrosos de punto de ebullición no mayor a 1000 °C, este calienta el crisol que almacena el elemento a fundir. Este tipo de hornos no se emplea con grandes volúmenes de producción.

Vaciado o colada del metal fundido: una vez calentado a la temperatura correcta, el metal fundido va a ser vertido en un molde, este proceso corresponde al vaciado o colada, e implica un cuidado control de las variables de temperatura, velocidad y tiempo de vaciado, para tener un sistema que evite la cavidad del mismo en el molde. Entre estas, se tiene:

Colada Convencional: el metal fundido es vertido en un molde con la forma del producto final, al enfriarse se solidifica el mismo, y no necesita una transformación posterior al proceso.

Colada sobre Lingoteras: este proceso implica el vertimiento del elemento fundido sobre lingoteras o moldes con la forma del producto determinado, que al enfriarse y solidificarse, dan un producto listo para su transformación. Este método es usado cuando la demanda de materia prima es baja ya que se pueden almacenar.

Colada en molde giratorio: consiste en verter un material previamente fundido en un molde cilíndrico hueco, que por efecto de la fuerza centrífuga, se adhiere a las paredes de los moldes. Esto se realiza para la fabricación de piezas huecas. Observamos el proceso de colado en molde giratorio en la Figura 16.

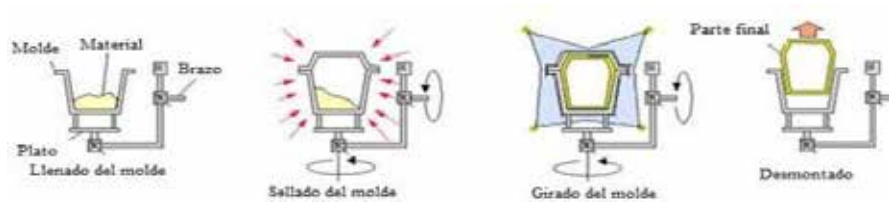


Figura 16: Colada giratoria

Fuente: Infogram. (2020).

Colada por inyección: se vierte el material fundido por medio de inyección a gran presión dentro de un molde permanente, lo cual permite que no necesite un proceso posterior, como se aprecia en la Figura 17.

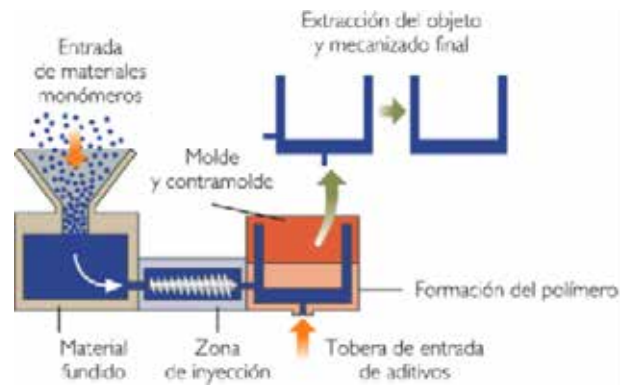


Figura 17: Colada por inyección

Fuente: Infogram. (2020).

Colada continua: es el proceso mediante el cual el elemento fundido en fase líquida, es vertido en un molde abierto que permite que el material vaya a ser enfriado por medio de agua que circula por de forma directa o indirecta, esto conforme avance por medio de rodillos o cilindros giratorios, hasta alcanzar el producto final. Se denomina continuo dado a que el proceso no se detiene hasta que se haya acabado el material de la fundidora. (Ver Figura 18).

Este proceso permite que los costos de operación sean un tercio de los costos de colada convencional, aunque la inversión inicial es mayor. Además, permite tener una velocidad de producción mayor, con un consumo de materiales menor. Pero tiene varias desventajas, que se deben a las dificultades que existen en la fundición con alto contenido de aleación, por lo que no todos los materiales se solidifican en el punto más estrecho de la máquina

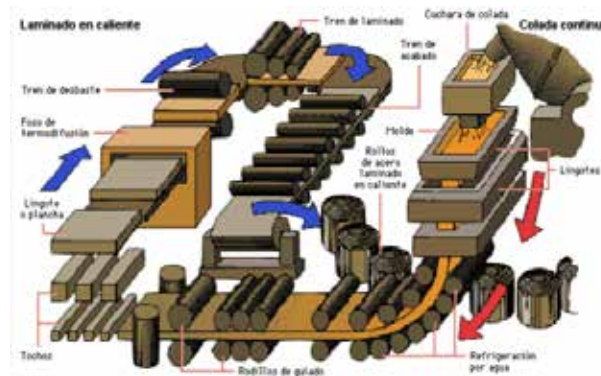


Figura 18: Colada continua

Fuente: Infogram. (2020).

2.2.10 La colada continua de aluminio

El proceso de colada del aluminio es de estado estacionario, ya que la naturaleza del elemento permite que el metal sea fundido mientras avanza hasta su

solidificación, esto ocurre debido a su fase líquida-sólida tiene bajo contenido de aleación, lo que permite que el aluminio sea ideal para este tipo de colada.

Clasificación del proceso:

- Dependiendo de las dimensiones del producto final de acuerdo al ancho y angosto de las láminas, lo cual amerita distintas propiedades de las cintas.
- Por rodillos en dirección horizontal o vertical (Figura 19).

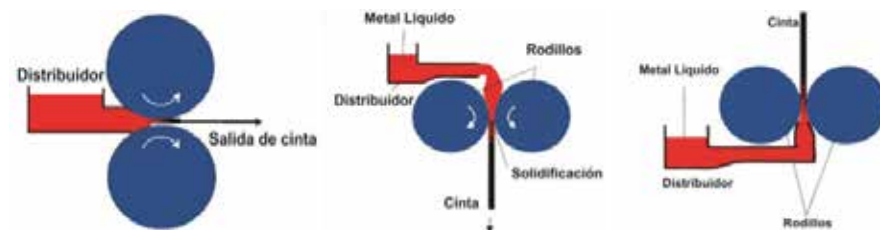


Figura 19: Colada Horizontal, vertical hacia abajo y arriba

Fuente: López, A. (2008).

- Por el tipo de molde: fijos o paredes móviles.
- Por el número de rodillos: un rodillo, par de rodillos, por bandas, por bloques, por arrastre, por banda de acero y un rodillo. Un mayor número de rodillos proporcionan que el producto de aluminio tenga un menor espesor, por lo cual dependerá de la industria y el uso particular del mismo. (Figura 20)

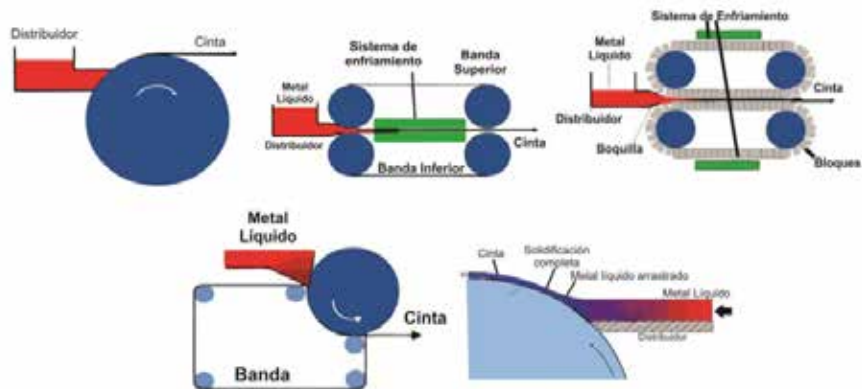


Figura 20: Tipos de colada de acuerdo al número de rodillos

Fuente: López, A. (2008).

2.3 Bases legales

Su determinación es vital a la hora de establecer el marco legal dentro del cual se desenvuelve el proyecto, pues esta fundamentación “se refiere a la normativa jurídica que sustenta el estudio. Desde la Carta Magna, las Leyes Orgánicas, las resoluciones, decretos, entre otros” (Palella y Martins, 2012, p. 63). De esta manera, las bases legales de interés se presentan en breve.

2.3.1 Código Eléctrico Nacional

También conocido bajo la denominación NFPA 70, consiste en el estándar estadounidense, pero con alcance internacional (en concordancia con normas internacionales relacionadas con la protección para la seguridad de la corriente eléctrica, como la Comisión Electrotécnica Internacional), que define todas las consideraciones necesarias a tomar en cuenta al realizar cualquier instalación eléctrica de forma segura y confiable.

2.3.1.1 Secciones aplicadas del Código Eléctrico Nacional

SECCIÓN 720 Circuitos y Equipos Operando a Menos de 50 Voltios.

SECCIÓN 725 Circuitos de Control Remoto, Señalización y de Potencia Limitada Clase 1, Clase 2 y Clase 3.

2.4 Definición de Términos Básicos

Alcance: consiste en la diferencia entre los valores superior e inferior del campo de medida de un instrumento. (Creus, 2010).

Campo de medida: abarca el conjunto de valores de la variable medida comprendidos entre los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión de un equipo. (Creus, 2010).

Error: se define como la diferencia algebraica entre el valor de la lectura de un instrumento y el valor real de la variable. (Creus, 2010).

Exactitud: se trata de la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar medidas más próximas al valor más probable de la magnitud en cuestión (Creus, 2010).

Precisión: se define como la tolerancia de medida o de transmisión de un equipo o instrumento, lo cual no es más que el intervalo admisible dentro del que se puede encontrar la magnitud medida, contemplando los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones apropiadas de servicio, durante el período de tiempo definido por su vida útil estimada. (Creus, 2010).

Linealidad: la aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada. (Creus, 2010).

Sensibilidad: consiste en la razón de incremento de la lectura y el aumento de la variable que lo genera. (Creus, 2010).

Zona muerta: abarca la gama de valores de la variable que no generan una variación en la indicación, o la señal de salida de un instrumento. (Creus, 2010).

Repetibilidad: no es más que la capacidad de reproducción de la señal de salida de un instrumento, cuando este mide repetidamente los mismos valores de una magnitud recorriendo todo su campo de servicio, dentro de las mismas condiciones de operación, y en el mismo sentido de variación. (Creus, 2010).

Histéresis: consta de la máxima diferencia entre los valores indicados por un determinado instrumento, para el mismo valor cualquiera del campo de medida,

cuando el recorrido de la magnitud a lo largo de la escala se efectúa en sentido ascendente y descendente. (Creus, 2010).

Sistema: es un módulo ordenado de elementos que se encuentran interrelacionados y que interactúan entre sí. (Definición.de, 2008).

Acondicionador: es un proceso de adquisición de datos, que convierte un tipo de señal eléctrica o mecánica (señal de entrada) en otro (señal de salida). (HBM, 2021).

Temperatura de servicio: rango de temperaturas en el cual se espera que trabaje el instrumento dentro de unos límites de error especificado. (Creus 2010).

Proceso: es una secuencia de acciones que se llevan a cabo para lograr un fin determinado. (Economipedia, 2020).

Fundición: proceso de producción de piezas metálicas a través del vertido de metal fundido sobre un molde hueco, por lo general hecho de arena. (Guillermo 2009).

Colada: es el proceso de vertido del material fundido desde la cuchara al molde, hasta el llenado de la pieza a través de los conductos establecidos en el molde. (BIRT LH, 2021).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Arias (2012), expone que “la metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “cómo” se realizará el estudio para responder al problema planteado” (p. 110). Esto es sumamente importante, dado que no solo define los elementos de la investigación en curso (tipo, diseño y nivel), sino que también lista los procedimientos a través de los cuales se podrá describir la situación de forma fidedigna, por medio de la observación y recolección de la información pertinente, articulando, gracias a ello, la formulación de las hipótesis que pueden ser confirmadas o descartadas por medio de investigaciones relacionadas al problema.

3.1 Tipo de Investigación

Debido a que el objetivo principal a lograr mediante la realización de la presente investigación es el de diseñar un prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad de giro e intensidad de línea de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa, debe denominarse bajo la clasificación de proyecto factible. Respecto a ello, UPEL (2016), dictamina en que:

El Proyecto Factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El Proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades (p. 21).

3.2 Diseño de Investigación

Por su parte, “el diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado...” (Arias, 2012, p. 27). Y dado que, con el fin de plantear una propuesta factible, capaz de neutralizar la problemática dicha satisfactoriamente, resulta imprescindible registrar de primera mano toda la información posible respecto a las deficiencias del sistema de monitoreo que afronta la línea IV de colada continua de CVG Alucasa, en función de los objetivos planteados. De esta manera, es oportuno efectuar una investigación de campo, la cual, UPEL (2016), la denomina de la siguiente manera:

Se entiende por Investigación de Campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios... (p. 18).

No obstante, es importante recordar que la planta ya cuenta con elementos de monitoreo de las variables mencionadas en la línea IV de colada continua, así que, para alcanzar una propuesta que represente el verdadero potencial del proyecto, debe tratarse de un sistema novedoso, que pueda operar no solo de forma accesible y confiable, sino también novedosa y remota, por lo que es necesario realizar una consulta a todas las fuentes de información posibles, independientemente de su naturaleza. En consecuencia, calificaría como investigación documental, de acuerdo a lo que UPEL (2016) dictamina:

Se entiende por Investigación Documental, el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos

divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y, en general, en el pensamiento del autor (p. 20).

3.3 Nivel de Investigación

Con base en la premisa planteada por Arias (2012), que reza que: “el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (p. 23). Conociendo este hecho, se determina que el nivel de esta investigación es descriptivo, ya que para poder diseñar la propuesta en cuestión, apuntando a maximizar la factibilidad y seleccionar los componentes adecuados, es menester llevar a cabo el diagnóstico del estado en el cual se encuentran los sistemas de monitoreo de temperatura, y velocidad e intensidad en los rodillos de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa, conocer los rangos de operación de las variables de los equipos en planta, así como caracterizar el modus operandi de sus actividades. Esto, en concordancia con lo propuesto por Arias (2012):

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere (p. 24).

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

Arias (2012), por un lado, señala que:

La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio (p. 81).

En este caso, la población está conformada por las cuatro líneas de colada continua existentes en CVG Alucasa.

3.4.2 Muestra

Siguiendo el mismo orden de ideas, se tiene a la muestra, “que no es más que la escogencia de una parte representativa de una población, cuyas características reproduce de la manera más exacta posible” (Palella y Martins, 2012, pág. 106). Este concepto, junto al de población, son esenciales para enfocar adecuadamente la investigación.

Para el caso de estudio, dado el estado actual de la planta CVG de Alucasa, y específicamente, de la línea IV de colada continua en las instalaciones mencionadas, la muestra estará conformada por el horno de fundición, el horno de retención y 3 motores DC, de los cuales, dos de ellos sustentan a los dos cilindros de cada par motor-cilindro de la laminadora, mientras que el tercero forma parte del enrollador. Siendo todo este conjunto de elementos, el sistema para el cual se propondrá el prototipo del sistema de monitoreo de temperatura, y velocidad de giro e intensidad de corriente de los cilindros que accionan sus motores.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas e instrumentos que conforman la investigación son fundamentales para la recolección de datos esenciales para de la problemática que se está trabajando. Balestrini (2006), describe esto de la siguiente manera:

A este nivel de desarrollo del proyecto de investigación, se debe señalar y precisar, de manera clara, y desde la perspectiva metodológica, cuales son aquellos métodos, instrumentos técnicos de recolección de información, considerando las particularidades y límites de cada uno de estos, más apropiados, ateniendo a las interrogantes planteadas en la investigación y a las características del hecho estudiado, que en su conjunto nos permitirán obtener y recopilar los datos que estamos buscando. Por cuanto, en toda la investigación, la especificidad del conjunto de informaciones que se impone recolectar a fin de alcanzar los objetivos, inciden de manera determinante, en los diversos medios utilizados para desplegar la misma. (pág. 132).

3.5.1 Técnicas de Recolección de Datos

3.5.1.1 Observación Directa

Según Bernal (2010), se define que: “la observación, como técnica de investigación científica, es un proceso riguroso que permite conocer, de forma directa, el objeto de estudio para luego describir y analizar situaciones sobre la realidad estudiada.” (p. 257).

3.5.1.2 Revisión Documental

Según, Hurtado (2008), a partir de la lectura de libros, tesis, revistas científicas, redes telemáticas y cualquier otro medio que provea acceso a investigaciones que sean de información válida para la problemática, pueden detectarse avances teóricos o instrumentales que anteriormente no era posible realizarlos, además, contribuye al desarrollo de criterios importantes que justifican las investigaciones que son proyectadas en fases posteriores.

Como se señala anteriormente, es necesario el uso de los recursos documentales, pues para esta investigación se recolectarán y examinarán las distintas revistas y manuales que recopilan los diferentes tipos de sensores de acuerdo a las variables de velocidad, temperatura e intensidad de los rodillos de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa, para su posterior elección.

3.5.1.3 Entrevista

Según Buendía, Colás y Hernández. (1998): “la entrevista consiste en la recogida de información a través de un proceso de comunicación, en el transcurso del cual el entrevistado responde a cuestiones, previamente diseñadas en función de las dimensiones que se pretenden estudiar, planteadas por el entrevistador” (p. 127).

Con frecuencia es necesario la consulta de los profesionales a cargo del monitoreo y operación de la línea IV de colada continua en CVG Alucasa, para conocer las especificaciones del proceso, corroborar datos y establecer un criterio apropiado para la resolución del mismo, por lo que resulta esencial la realización de la entrevista de forma planificada con un enfoque estructurado de los temas a tratar para el provecho pleno de la investigación.

3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos

Arias (1999) define que: “los instrumentos son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información” (p. 25). De acuerdo al autor, estos son fundamentales para la recolección de datos, formando parte esencial en la aplicación de las técnicas de recopilación de información. Los instrumentos a utilizar son los siguientes:

3.5.2.1 Guion de Entrevista

Permite un enfoque estructurado de los puntos a tratar en la entrevista, conforme al aprovechamiento de la investigación en cuestión. De esta manera, se realizará un guion establecido dirigido al equipo a cargo del monitoreo y operación de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa.

3.5.2.2 Registro Fotográfico

Se emplearán distintos dispositivos electrónicos para registrar de forma fotográfica el proceso conformado en la línea IV de colada continua de CVG Alucasa. Del mismo modo, se repetirá el proceso con los componentes electrónicos implicados, conforme al desarrollo del prototipo electrónico en cuestión.

3.6 Fases Metodológicas

Fase I: Determinar las condiciones actuales de las áreas de interés de la planta para el diseño del prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

Se estudiará el funcionamiento actual del sistema que conforma la línea IV de colada continua en CVG Alucasa. De lo anterior, se detectará la presencia o ausencia de todos los dispositivos de sensado involucrados con la temperatura de los hornos de fundición y las variables de velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada. A su vez, Se realizará la entrevista correspondiente a los profesionales a cargo, tomando en cuenta esta información para el posterior análisis de las condiciones actuales.

Fase II: Identificar los componentes y elementos del prototipo electrónico para la medición de las variables de interés en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

De acuerdo a la información recolectada por las técnicas e instrumentos aplicados en la fase anterior, se examinarán los dispositivos de sensado que cumplan con los requerimientos para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa. Así mismo, se identificarán los componentes y dispositivos necesarios para el procesamiento de la información de los elementos primarios de medición, y para la adecuación en el diseño del prototipo electrónico para la medición de las variables involucradas.

Fase III: Evaluar la factibilidad económica, técnica y operativa del prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

Se evaluará la factibilidad económica de la construcción del prototipo electrónica, a través de un estudio de costos a futuro, conforme al precio de los elementos individuales que conforman el diseño, costos de producción y cualquier material, elemento o dispositivo necesarios para la realización del diseño electrónico.

Fase IV: Implementar y probar el prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros, de acuerdo a las magnitudes de las variables de proceso a las que opera la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

Por último, la fase final abarcará la construcción de prototipo electrónico basado en el diseño realizado, y de esta manera, comprobar el comportamiento correcto de acuerdo a las variables de medición.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

A lo largo de este capítulo, se detalla el desarrollo de los objetivos planteados, en función del tratamiento e interpretación de toda la información obtenida a través de la aplicación de las diversas técnicas de recolección de datos implementadas, tales como la observación directa, la revisión documental, y la entrevista; al igual que de instrumentos como el guion de entrevista y el registro fotográfico; con la finalidad última de diseñar un prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad de giro e intensidad de corriente de línea de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa. De esta manera, se muestran los resultados logrados durante cada fase.

4.1 Fase I: Determinar las condiciones actuales de las áreas de interés de la planta para el diseño del prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa

Durante esta etapa, se recolectó toda la información posible respecto a las condiciones actuales de los sistemas de medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad de rotación e intensidad de corriente de línea de los cilindros de la línea IV de colada continua, a través de los instrumentos y técnicas de recolección de datos planteados previamente, para así poder diagnosticar de forma asertiva la condición en dicha línea de producción.

4.1.1 Estudio del funcionamiento de una línea de fundición de colada continua de aluminio

Para conocer a profundidad la disposición y el funcionamiento de los distintos equipos y elementos que conforman el enfoque de la presente investigación, se llevó

a cabo una revisión documental del instructivo de los equipos (es decir, hornos de fundición y retención, y motores de cilindros laminadores y del enrollador) de la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

4.1.1.1 Constitución de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa

Los elementos alrededor de los cuales opera el proceso en cuestión, se pueden dividir en dos sistemas, el primero, consiste en los dos hornos de fundición de aluminio, que pueden apreciarse en la figura 21, y que para fines prácticos, se distinguen entre un horno de fundición de propósito homónimo, y un horno de retención, que permite mantener la temperatura del producto en niveles apropiados para el proceso. Mientras que la otra parte vital del sistema, se trata de una máquina de colada JUMBO 3C840, la cual se aprecia en la figura 22, y se denomina de tipo “3C”, ya que efectúa la colada continua entre cilindros, desempeñando la función de realizar bobinas de aluminio en banda a partir del metal líquido, dicho equipo se constituye en tres elementos principales:

- Una jaula de colada de dos cilindros, que son el conjunto encargado de solidificar y laminar el metal.
- Una enrolladora de mandril expansible, para formar a la bobina. Cabe agregar que en esencia, también consta de un cilindro, pero se hace cita de este como enrollador, para diferenciarlo de los cilindros de solidificación y laminado del aluminio.
- Una cizalla basculante, que está dispuesta entre la jaula y el enrollador, con el fin de seccionar la banda al final de la bobina.



Figura 21: Hornos de fundición y de retención.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).



Figura 22: Máquina de colada JUMBO 3C840.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

4.1.1.2 Operación general de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa

En conformidad con el instructivo de la Máquina 3C840 Colada continua aluminio entre cilindros (División de Equipos Industriales Grupo IMM–CGEE Alsthom, 1988), luego de haber inicializado apropiadamente el sistema de hornos, y de configurar apropiadamente los elementos que lo constituyen en función de los valores operacionales requeridos para dar inicio a la colada, realizada gracias a dos hornos, el de fundición, y otro de iguales especificaciones que permite la retención del aluminio en estado líquido en las características idóneas para el proceso, el cual

sale mediante una canaleta que lo lleva a una bolsa de afinado llamada “bolsa Alpur”, la cual, a través un rotor inyector, mezcla al metal con cloro y argón, con el propósito de desgasificarlo (pues resulta muy susceptible a absorber hidrógeno durante la fusión y colada).

Así, a la salida de dicha bolsa Alpur, se regula el flujo de metal gracias a un agujero de colada en función del nivel requerido en el recipiente. De cualquier manera, el producto, luego de filtrarse, procede a transportarse vía canaletas hasta llegar a una cuba, que no es más que un embudo plano que reparte el metal a lo ancho, y lo introduce en un inyector colocado entre los cilindros, dicho inyector se puede asimilar a un molde, adaptándose al intersticio entre los cilindros, en pro de asegurar un ancho constante a la banda.

Lo previamente detallado, se debe complementar con un abundante flujo de agua, para mitigar la considerable potencia calorífica que irradia el metal al solidificarse, la cual se absorbe mediante un enfriamiento enérgico de los cilindros; que además son pulverizados con grafito para minimizar su grado de adherencia a las bandas de producto.

Luego de pasar por los cilindros de laminación, la banda de aluminio se engancha en la ranura del mandril del cilindro enrollador, el cual se expande y cierra la ranura de introducción para mantener a la banda, esto permite a la enrolladora iniciar con el devanado alrededor del mandril, precisando de varias horas para formar una bobina completa. Es de vital importancia mencionar que para efectuar un enganche de banda, la mesa de enganche debe haber sido previamente montada y preparada, así como el mandril debe colocarse de forma tal que presente su ranura abierta frente a la mesa de enganche.

Acto seguido, se efectúa cuidadosamente el cizallamiento, donde la banda es seccionada gracias a la cizalla que se adapta a la velocidad de la misma, basculando apropiadamente para no alterar la banda; del mismo modo gracias a un mecanismo de desplazamiento, se coloca una carretilla por debajo de la bobina, pues con la ligera presión ejercida bajo ésta, se evita un hipotético desenrollado.

Es importante mencionar que luego del cizallado, el enrollador no se detiene hasta llevar la cola de banda bajo la bobina, para proseguir con el encercado de protección para etapas posteriores. Así, el mandril se contrae, lo que deja libre a la bobina para que gracias al accionamiento de gatos hidráulicos, la carretilla la traslade al depósito respectivo.

4.1.1.3 Condiciones de funcionamiento

Según el instructivo de la División de Equipos Industriales Grupo IMM–CGEE Alsthom, (1988), y en relación al alcance y las limitaciones de la presente investigación, los parámetros principales que definen el desempeño satisfactorio de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa, son los que se plantean a continuación.

4.1.1.3.1 Hornos de fundición

Como ya se mencionó, se tienen dos hornos de fundición de iguales características y funcionamiento, los cuales se diferencian entre sí dependiendo de la función que desempeñan, por lo que se denominan como horno de fundición, y de retención, respectivamente, siendo este último clave para mantener el aluminio en la temperatura apropiada para el funcionamiento de los inyectores.

Claramente, antes de poner en marcha a la línea IV de colada continua, se configuran los puntos de consigna de los distintos reguladores a los valores idóneos, y una vez se ha comprobado que todas las válvulas manuales se encuentran en la posición estandarizada, se procede a accionar los interruptores de energización de los circuitos eléctricos del horno, lo que a través del pulsador correspondiente, permite el accionamiento del motor de combustión. Luego, un presostato se abre, accionando al temporizador de purga, el cual debe programarse con un tiempo lo suficientemente prolongado como para llevar a cabo cuatro renovaciones de aire del horno, esto es necesario, ya que al ser un sistema cerrado que inicialmente contiene aire, debe prepararse para la introducción de gas inflamable, por lo que se debe introducir un gas inerte, para reducir la concentración de oxígeno, y evitar la formación de una atmosfera inflamable.

Luego de chequear si las alarmas de gas, aire, regulación, etc., se encuentran en el estado apropiado, se acciona la válvula eléctrica de accionamiento manual general de toda la instalación, para seguidamente abrir las válvulas manuales del circuito de gas, y presionar el pulsador correspondiente al quemador que se pretende encender, que abre la electroválvula y acciona al transformador de ignición que permite generar la chispa inicial. Así, con la electroválvula abierta, el gas fluye hacia el quemador, lo que genera el encendido, después del cual se puede soltar el pulsador, ya que claramente, con el quemador encendido se puede dejar de producir la chispa.

También resulta importante acotar que la detección de la temperatura se efectúa mediante termopares, mientras que el control se efectúa mediante reguladores controlados por relés, que varían la colocación de la válvula de entrada de aire a los quemadores, manipulando así el caudal del aire, en función del valor de la temperatura con respecto a la consigna. Aunada a la medición del caudal aire/gas, lo cual se realiza mediante diafragmas conectados a convertidores neumático-eléctricos, para que luego del acondicionamiento de dichas señales, el controlador ajuste la relación aire/gas de forma automática.

4.1.1.3.2 Servicio de la línea de colada continua

Un dato de gran relevancia es la condición de servicio de la línea de colada, que al valerse de un equipo 3C8430, debido a su condición de máquina de colada alimentada, durante una semana, se debe operar en un servicio continuo de 144 horas sobre 144 horas, pues una detención accidental, conlleva al cambio de las piezas principales del inyector, un proceso que se prolonga alrededor de doce horas.

4.1.1.3.3 Velocidad de colada

Este parámetro resulta una función de la velocidad de rotación de los cilindros que mueven el aluminio y que ejercen una reducción de su espesor, siendo la medición de dicha velocidad de giro, una magnitud vital para el control de este punto crítico del proceso, pues es clave a la hora de mantener el equilibrio térmico de la solidificación del metal entre los cilindros, ya que dicho equilibrio depende del enfriamiento aportado al metal.

De esta forma, cuando la velocidad de colada es relativamente alta, el enfriamiento no es suficiente, por lo que el metal sale líquido de los cilindros; mientras que si se cuenta con una baja velocidad de colada, el enfriamiento del metal es demasiado, y se solidificará en el inyector antes de colocarse entre los cilindros.

Así, la velocidad de colada ideal, es toda aquella que permita tanto alcanzar como mantener el equilibrio térmico. En relación a ello, para tener un enfriamiento suficiente, se requiere de cierto tiempo de contacto entre el metal y los cilindros, lo cual limita la velocidad de colada, que hacen que la máquina y en un todo, el sistema, constituyan un proceso lento.

De cualquier manera, la velocidad normal permanece constante durante prácticamente toda la duración del ciclo de colada, o en su defecto, deriva ligera y lentamente. Siendo importante destacar que como tal, el único instante crítico para la regulación de la velocidad es el inicio de la colada para pasar de la velocidad de arranque a la velocidad normal de marcha, dado que las condiciones de colada aún son inestables. De hecho, otro fenómeno importante a tener en cuenta, es que durante el inicio del proceso de colada, el par de reducción que se establece, produce un aumento de la intensidad de corriente absorbida por el motor de accionamiento de los cilindros, como consecuencia del metal que comienza a solidificarse entre estos, al funcionar muy lentamente, algo que se contrarresta incrementando progresivamente la velocidad de arranque hasta el valor normal.

4.1.1.3.4 Par de reducción

Este se encuentra en función de diversos valores, como la naturaleza del metal y su temperatura, posicionamiento del inyector, ancho y espesor de la banda, y tracción sobre la banda; los cuales, a excepción de la temperatura del aluminio líquido (que es susceptible a pequeñas variaciones), suelen mantenerse constantes durante la marcha del sistema dentro de las condiciones operacionales convencionales.

Esto resulta relevante pues el par de reducción es un reflejo del equilibrio térmico, entonces, si el metal líquido llega un poco menos caliente a la entrada de los cilindros, el frente de solidificación total se aleja del eje de los cilindros, por lo que el

par de reducción incrementa, y en consecuencia, la velocidad de marcha debe aumentarse para reducir la duración de enfriamiento del metal entre los cilindros. Por otro lado, cuando el aluminio llega con una temperatura mayor a la establecida en los rangos de parámetros nominales, el frente de solidificación total se aproxima al eje de los cilindros, lo que se corresponde con una disminución en el par de reducción, ergo, la velocidad de marcha debe ser reducida para aumentar la duración del enfriamiento.

En pocas palabras, en una máquina 3C840 en marcha normal, las variaciones de par son inversas con respecto a las variaciones de velocidad. Y, bajo ciertas condiciones, como cuando el equipo se encuentra frío, se trabaja con aleaciones, y demás casos, el equilibrio térmico se obtiene solamente una o dos horas tras el arranque de la colada, durante este período, el par de reducción es superior (unas 1,4 veces) al par normal pedido cuando se logra el equilibrio térmico.

4.1.1.3.5 Enrollamiento de la banda

En lo que concierne a la etapa en cuestión, la bobina de aluminio debe enrollarse aplicando una tracción constante de inicio a fin del proceso de bobinado (desde que se tiene el diámetro del mandril hasta lograr el diámetro máximo de dos metros), por ello, como ya se mencionó, debido a que la velocidad de colada es relativamente lenta en línea general, el enrollamiento de la bobina dura varias horas, aproximadamente cuatro para cada una.

Es de suma importancia recalcar que, el elemento 3C840 se trata de un sistema maestro-esclavo, donde el motor de la enrolladora, es el que fija las referencias operacionales que condicionan el funcionamiento de los motores de los cilindros de laminación, pues deben tener una velocidad dentro del mismo rango de valores establecidos, con la finalidad de desarrollar el proceso satisfactoriamente, evitando el enrollado defectuoso y/o, la rotura de la banda, entre otros inconvenientes.

Así, una vez el operario efectúa el arranque del enrollador, hasta alcanzar las 1100 RPM, naturalmente la corriente incrementa al empezar a pasar la banda, siendo relevante pues es en este punto del proceso donde el operario pasa al modo de control automático realimentado, donde se fija como referencia para los cilindros, la

velocidad de giro del enrollador, que asume el rol de maestro en el proceso de regulación de voltaje de los dos motores del elemento de solidificación y laminación de la máquina 3C840.

4.1.1.3.6 Descripción del automatismo de la 3C840

Para el control y el monitoreo de la máquina 3C840, se emplea un sistema dotado de tres componentes esenciales, que pueden apreciarse en la figura 23, y son:

- **Autómata programable C350:** desempeña funciones clasificables en tres grandes categorías:

Funciones lógicas: llevadas a cabo gracias a las secuencias lógicas que se utilizan en las entradas/salidas todo o nada, que permiten el accionamiento de los cilindros, la cizalla, y la enrolladora, así como de otros sistemas de la línea, como la carretilla de evacuación, la placa de colocación, y para detectar posibles condiciones de falla eléctrica.

Funciones numéricas: tales como la adquisición de señales analógicas diversas, de los valores de los dínamos tacométricos; recepción de los puntos de consigna establecidos por el microprocesador S600 y de las ordenes provenientes del microcalculador; entre otras como el cálculo de velocidad de la banda y de los cilindros, o del cálculo del diámetro y el peso de la bobina. Además de enviar las medidas al calculador mediante el coprocesador, y de las condiciones faltantes y defectos del equipo al microprocesador.

Funciones automáticas: como el posicionamiento de ranuras y enganches automático durante el ciclo de corte de la cizalla, al igual que la evacuación automática, y el arranque automático de la colada.

- **Coprocesador S351:** se trata de una unidad de intercambio inteligente que permite transmitir informaciones en una línea en serie asincrónica, fungiendo como coprocesador del autómata C350 para el intercambio directo de la información con el calculador.

- **Microprocesador S600:** sustenta el establecimiento de la interfaz hombre máquina, pues permite que el operador visualice las de las condiciones faltantes de las secuencias automáticas del C350 y las medidas de las magnitudes esenciales del equipo 3C840, así como le permite gestionar el registro de las consignas necesarias para que el C350 accione la máquina. Todo esto se complementa con una impresora para sustentar los registros de aparición o desaparición de defectos en el equipo, junto a su hora de aparición. Por otro lado, el S600 permite además, el intercambio de información con el sistema automático de pesada de las bobinas producidas.
- **Microcalculador IBM PC:** consiste en el nivel jerárquico superior del automatismo, lo que le permite el intercambio de datos tanto con el microprocesador como con el coprocesador.

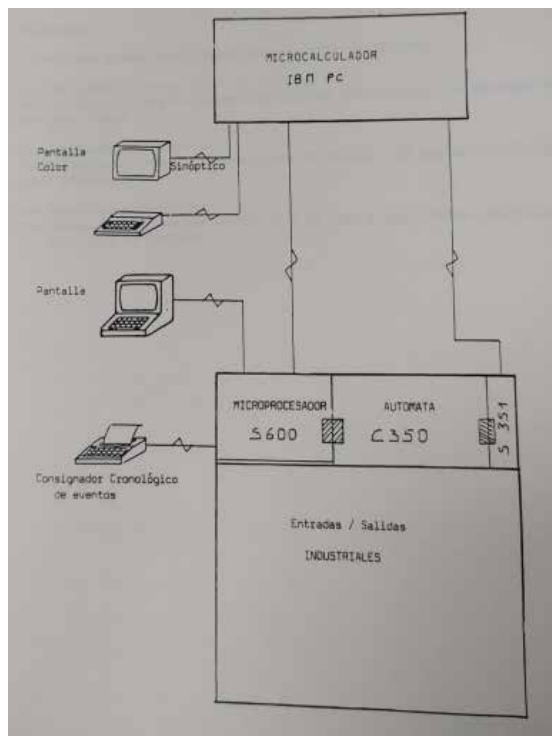


Figura 23: Estructura del automatismo de la máquina 3C840.

Fuente: División de Equipos Industriales Grupo IMM–CGEE Alsthom, (1988).

4.1.1.4 Parámetros de operación del proceso

Del mismo modo, el manual previamente mencionado, también provee las magnitudes operacionales de los equipos de interés, lo cual es de vital importancia para el diseño de un prototipo cuyo funcionamiento sea preciso y acorde al rango de valores que maneja el proceso (tanto a nivel termodinámico, como electromecánico), los cuales se detallan a continuación.

4.1.1.4.1 Características misceláneas de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa

- Hornos de fundición

Sistema: aire-gas.

Temperatura (Setpoint): $800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\%$; desde $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $832\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sistemas de alarmas:

Exceso de temperatura en bóveda.

Alta/baja presión de gas.

Baja presión de aire de combustión.

Disparo térmico del ventilador de presión.

Disparo térmico del ventilador de combustión.

Falta de llama en quemadores.

- Máquina de colada

Modelo: JUMBO 3C840.

- Banda

Ancho:

Mínimo: 31" (800 mm).

Máximo: 63" (1600 mm).

Espesor:

Mínimo: 0,20" (5 mm).

Máximo: 0,3937" (10 mm).

Velocidad máxima: 120"/min (3m/min).

- Bobina
 - Diámetro interior: 20" (508 mm).
 - Diámetro exterior máximo: 72" (1832 mm).
 - Peso máximo: 22075 lbs (10000kg).
- Rodillo medidor
 - Diámetro: 350 mm.
 - Multiplicador mecánico rodillo/GI: 29,29.
- Alimentación eléctrica
 - Corriente alterna trifásica: 440 V \pm 10% – 60 Hz \pm 2% sin neutro.
 - Tensión de las electroválvulas: 115 V – 60 Hz.

4.1.1.4.2 Características de los motores de los cilindros de solidificación y laminación de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa

Este elemento está conformado por dos motores, uno por cada cilindro, los cuales pueden verse en la figura 24, y están previstos para ser alimentados con corriente rectificada mediante puente trifásico (doble alternancia). Sus requerimientos operacionales electromecánicos se disponen a continuación.



Figura 24: Motores de cilindros de solidificación y laminación.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

4.1.1.4.2.1 Características mecánicas

- Cilindros y sistema de ajuste

Ancho de mesa de cilindros: 69" (1750 mm).

Diámetro de los cilindros:

Cilindros nuevos: 33070" (840 mm).

Diámetro teórico mínimo: 27559" (700 mm).

Esfuerzo de ajuste nominal: 2,7 millones lbs (1230 t).

Esfuerzo de ajuste máximo: 3,4 millones lbs (1550 t).

- Sistema de accionamiento de cilindros
 - Accionamiento separado de cilindros.
 - Factor de servicio de los reductores: 1,5.
 - Motores de corriente continua: 48,2 C.
 - Pares nominales: 2 x 28 000 m.kg.
- Reductor de accionamiento para cada cilindro
 - Velocidad en la entrada: 2150 rpm.
 - Velocidad en la salida: 1,7 rpm.
 - Reducción teórica total: 1265.
 - Altura del eje: 500 mm.

4.1.1.4.2.2 Características eléctricas

- Tipo de motor: Corriente continua – C2 PVS 180 S.
- Potencia: 50 kW (operado a 90% ± 2% de la potencia nominal), $fp=0,85$.
- Velocidad de base: 1220 RPM.
- Variación de velocidad de 0 a 1220 RPM por variación de la tensión: excitación constante.
- Variación de excitación posible de 1220 a 2150 RPM: Ajuste fija.
- Tensión nominal: 440 V.
- Frecuencia de alimentación: 60 Hz.
- Intensidad nominal de armadura: 130 A.
- Intensidad máxima de armadura: 260 A.

- Campo a 10 A, suministrado por un autotransformador de relación de 460 V/230 V.
- Sobrecargas: + 25% durante 2 horas/ + 100% durante 1 minuto.
- Excitación independiente: 180 V – 3,4 A.
- Eje horizontal – armazón con patas de fijación: Forma B3.
- Modelo protegido, ventilación: en circuito abierto con filtro, motor-ventilador montado en el motor.
- Grado de protección. IP 23.
- Mesas con rodamientos.
- 1 extremo de eje.
- Aislamiento y calentamiento para inducido y polos auxiliares: Clase F.
- Aislamiento y calentamiento para inductores: Clase F.
- Caja de terminales estanca.
- Con un conjunto dinamo taquimétrico y generador de impulsos accionando por el motor, lado opuesto al extremo del árbol de accionado, armadura con brida.
- Sentido de rotación: 2 sentidos de rotación
- Peso: 370 kg
- Inercia: 0,4 kg.m²
- Generadores de tiristores: estos son alimentados a partir de la red de 460 V, cada generador de tiristores es desacoplado de la red 450 V con un *self* trifásico o con un autotransformador. Los valores nominales de funcionamiento para el motor de cada cilindro son:
 - 1 puente de GRAETZ unidireccional – tipo S 360 U 1600 – Tipo SEMIPACK.
 - Corriente máxima permanente admisible IP = 360 A (clase de servicio n°1, según norma NFC 53 220).
 - Tiristores: SKKT 161 E16.
 - Fusibles: 6 Bodk C3 URGG 31TC/350 A (FERRAZ).

- Valor operacional de control:
Setpoint de velocidad: 1100 RPM \pm 1%, o sea, de 1089 RPM a 1111 RPM.
- Valor operacional de monitoreo
Setpoint de corriente de línea: 69,47 A RMS \pm 2% (entre 68,08 y 70,86 A RMS), pues el uso de la máquina está acotado por un régimen de potencia del 90% de la nominal, es decir 45 kW \pm 2% (o sea, entre 44,1 kW y 45,9 kW).

4.1.1.4.3 Características del motor del enrollador de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa

El equipo enrollador se encuentra conformado por un motor, que puede verse en la figura 25, e ideado para ser alimentado con corriente rectificada por puente trifásico (doble alternancia), el cual debe satisfacer los siguientes requerimientos operacionales.



Figura 25: Motor del enrollador.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

4.1.1.4.3.1 Características mecánicas

- Enrollador
Con mandril expansible: 560-600 mm.
Tracción normal en la banda en curso de colada: 28643 lbs (13 t).

Tracción máxima en el enrollador: 35242 lbs (16 t).

Potencia del motor en corriente continua: 18kW.

- Reductor del enrollador

Reducción teórica: 848.

Velocidad de entrada máxima: 2460 RPM.

4.1.1.4.3.2 Características eléctricas

- Tipo: Corriente continua – CPVS 160L.
- Potencia: 18 kW (operado a $90\% \pm 2\%$ de la potencia nominal), con $fp=0,85$.
- Velocidad de base: 1220 RPM.
- Variación de velocidad por variación de la excitación: de 1220 a 2460 RPM.
- Tensión nominal: 440 V.
- Frecuencia de alimentación: 60 Hz.
- Intensidad nominal de armadura: 54 A.
- Intensidad máxima de armadura: 108 A RMS
- Sobrecargas: + 25% durante 2 horas/ + 100% durante 1 minuto.
- Excitación independiente: 180 V – 2,8 A.
- Eje horizontal – Armazón con patas de fijación: Forma B3.
- Mesa con rodamientos.
- 1 extremo de eje.
- Modelo protegido, ventilación: en circuito abierto con filtro, motor-ventilador montado en el motor.
- Grado de protección: IP 23.
- Aislamiento y calentamiento inducido y polos auxiliares: Clase F.
- Aislamiento y calentamiento para inductores: Clase F.
- Caja de terminales estanca.
- Con un conjunto dinamo taquimétrico y generador de impulsos accionados por el motor, lado opuesto al extremo del árbol de accionado, armadura con brida.
- Sentido de rotación: 1 sentido de rotación.

- Peso: 270 kg.
- Inercia: 0,24 kg.m²
- Generadores de tiristores: al igual que en el caso de los cilindros, estos son alimentados a partir de la red de 460 V, cada generador de tiristores es desacoplado de la red 450 V con un *self* trifásico o con un autotransformador. Las características operacionales para el motor enrollador son:
 - 1 Puente de GRAETZ unidireccional:
 - Tipo S 140 U 1600.
 - Tipo SEMIPACK.
 - Corriente máxima permanente admisible IP = 140 A (clase de servicio n° según norma NFC 53 220).
 - Tiristores: SKKd 71/16E.
 - Fusibles: 6 BodKC3 URGG 30TC/125 A (FERRAZ).
- Valor operacional de control:
 - Setpoint de velocidad: 1100 RPM \pm 1%, o sea, de 1089 RPM a 1111 RPM.
- Valor operacional de monitoreo
 - Setpoint de corriente de línea: 25 A RMS \pm 2% (entre 24,50 y 25,50 A RMS), pues el uso de la máquina está acotado por un régimen de potencia del 90% de la nominal, es decir 16,2 kW \pm 2% (o sea, entre 15,88 y 16,52 kW).

4.1.2 Entrevista con el personal responsable de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa

Con la finalidad de recabar información de primera mano, proveniente de parte esencial del personal responsable de la línea de colada bajo estudio, se realizaron tres entrevistas estructuradas vía email, dos de estas dirigidas al técnico mecánico de la línea IV de colada continua, y al supervisor de mantenimiento de la planta CVG Alucasa, cuyos conocimientos y percepciones con respecto a la problemática en

cuestión, dispuestos en los apéndices A y B, respectivamente, resultaránpreciados a la hora del diseño del prototipo del sistema de monitoreo.

Luego, sintetizando la información recolectada, se pudo confirmar que el sistema de monitoreo de las variables de temperatura de los hornos de fundición y retención de aluminio, y la velocidad de giro e intensidad de corriente de línea de los cilindros laminadores, y de la enrolladora de la línea IV de colada continua, resulta de vital importancia en la línea de producción, pues permiten al personal encargado de dicha línea, evaluar y controlar efectivamente el comportamiento del sistema, así como detectar cualquier anomalía presente para garantizar la calidad del producto final, la integridad de los equipos y el personal de la línea, y la productividad de la línea; parámetros que sufren repercusiones en función de si las variables de proceso incrementan o disminuyen desproporcionadamente, con respecto al rango de valores nominales.

Así, se requiere de un sistema de sensado que, siendo intuitivo y fácil de emplear, permita un monitoreo continuo con un desempeño confiable y consistente, correspondido con las magnitudes detectadas por los sensores, pues es lo que habilita a un operario y/o supervisor, por ejemplo, a tomar acciones asertivas que permitan contrarrestar o mitigar el efecto de alguna condición que se presente en la línea, además de ser necesario para reducir la incidencia de falsas alarmas que, por un malfuncionamiento del equipo de monitoreo (aproximadamente 1 vez al día, en promedio), supondrían un derroche de tiempo y recursos valiosos en la producción.

Por otro lado, la tercera entrevista estructurada que se llevó a cabo (apreciable en el apéndice C), fue dirigida al gerente de producción de CVG Alucasa, con el propósito de indagar información respectiva a la producción durante el período enero-mayo del año 2021, de lo cual pudieron extraerse los datos que, sintetizados en promedios periódicos, se organizan en el cuadro 1 para representar la dimensión económico-productiva actual de la línea IV de colada, considerando flujos monetarios como la magnitud de ingresos, costos operacionales de la línea, el valor comercial de la tonelada de aluminio, así como otros datos concernientes a la producción en sí

misma, como la cantidad de bobinas producidas y el costo adicional que implica una parada en un sistema de colada continua. Siendo todo esto un compendio informativo relevante, pues posteriormente se evaluará la factibilidad económica del prototipo.

Cuadro 1. Costos e ingresos periódicos de operación de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa.

Actividad	Frecuencia y/o costo
Bobinas de aluminio/turno	2 bobina/turno
Toneladas/bobina	2 t/bobina
Valor de mercado del aluminio/tonelada	2600 \$/t
Promedio ingresos brutos producción/día	31200 \$/día
Costos operacionales/mes	100000 \$
Horas de re-arranque posterior a una parada	12 h
Costos adicionales por parada	4000\$/parada
Promedio de horas en paradas/día	4 h/día

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

4.1.3 Diagnóstico de las condiciones actuales de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa

En función de toda la información recopilada, se procedió a examinar minuciosamente los equipos de interés de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa a través de un proceso de observación directa, con el fin de determinar las condiciones actuales de los instrumentos en línea, así como de los sistemas de monitoreo y medición. En este mismo orden de ideas, las máquinas contempladas dentro del enfoque de la presente investigación, y que conforman el sector esencial de la línea de producción, es decir, el horno de fundición y el de retención, los dos motores del par de cilindros de solidificación y laminación, y el motor del enrollador, se encuentran presentes y funcionalmente operativos en la línea, en función de los

parámetros de operación anteriormente detallados. Por otro lado, en cuanto a los sistemas de medición, los presentes en el tramo de interés de la línea se detallan en breve.

4.1.3.1 Sistema de sensado

Complementando la información recopilada previamente con distintas visitas a la línea IV de colada continua en la planta de CVG Alucasa, se pudo evaluar los equipos de sensado implementados en la misma, de entre los cuales, se enfoca el estudio sobre los presentados a continuación.

4.1.3.1.1 Horno de fundición

Termocupla tipo K: se emplea este tipo, ya que es capaz de efectuar mediciones en un rango de $-184\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1260\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\%$, suficientes para efectuar la medición de las temperaturas del horno de fundición y del de retención, las cuales rondan los $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ en condiciones nominales.

4.1.3.1.2 Motores de los cilindros de solidificación y laminación

- Sensado de velocidad de rotación
Generadores de tacómetro: en cada uno de los motores de los cilindros, se efectúa la medición del voltaje a las salidas de un tacómetro con una relación es de $60\text{ V}/1000\text{ RPM} \pm 0,5\%$, la cual, se envía a una tarjeta de escalamiento que regula el rango de dicha salida en un intervalo de $0\text{-}10\text{ V DC}$ analógicos, con 10 V representando una velocidad máxima de 2150 RPM .
- Sensado de intensidad de corriente
Transformadores de corriente: la medición de la corriente de línea se efectúa mediante tres de ellos para cada motor (pues se emplea un transformador de corriente monofásico para cada una de las líneas de alimentación), estos tienen una relación de transformación de $300\text{ A RMS}/0,5\text{ A RMS} \pm 1\%$. Las tres medidas son rectificadas, promediadas y parametrizadas mediante una tarjeta de escalamiento para mantener una señal de $0\text{ a }10\text{ V DC}$ analógicos,

con una relación de 10 V/ 155 A RMS (en función de la sobrecarga máxima posible, de 200%).

4.1.3.1.3 Motor enrollador

- Sensado de velocidad de rotación

Generador de tacómetro: se efectúa la medición del voltaje a la salida de un tacómetro con una relación es de 60 V/1000 RPM $\pm 0,5\%$, que nuevamente, con una tarjeta de escalado, regula dicho valor entre 0 y 10 V DC analógicos, teniendo en este caso que una medida de 10 V equivale a una velocidad máxima de 2460 RPM.

- Sensado de intensidad de corriente

Transformadores de corriente: de forma similar a como se efectúa en los motores de los cilindros, para el motor del enrollador, la medida de la corriente de línea se efectúa mediante estos elementos, no obstante, para el enrollador, tienen una relación de transformación de 150 A RMS/0,5 A RMS $\pm 1\%$, que se parametriza para mantener una salida de 0 – 10 V DC analógicos, con relación 10 V/ 56 A RMS (en función de la sobrecarga máxima posible, de 200%).

4.1.3.2 Sistema de monitoreo

Actualmente, el monitoreo de las variables de interés se realiza mediante indicadores digitales de instalación local, los cuales son, en función de la información recopilada, los elementos que presentan la mayor frecuencia de fallas dentro del sistema de medición, debido a malfuncionamientos (totales o parciales) en los paneles de visualización al menos una vez al día, que al extenderse por demasiado tiempo y generar incertidumbre, se suelen incurrir en paradas e incluso, falsas alarmas de variaciones desproporcionadas las magnitudes de temperatura de los hornos de fundición y de retención de aluminio, y la velocidad de giro e intensidad de línea de los cilindros de los laminadores y del enrollador en la línea IV de colada continua.

Así, una parada en vano del sistema, además de las pérdidas debido al tiempo durante el cual la línea no corre, implica costos adicionales de reactivación y puesta a punto de la línea de colada, lo cual supuso un elemento determinante en los estudios de factibilidad del presente proyecto.

Otro dato destacable, es que la instalación local de los indicadores, ofrece diversas oportunidades de mejora, dado que, por ejemplo, los visualizadores están situados en los respectivos tableros del elemento a sensar, ergo, se encuentran distanciados entre sí, pues se tiene un visualizador para el monitoreo de la temperatura del horno de fundición, uno para el de retención, y un monitor para las variables de la máquina 3C840 (es decir, las velocidades de giro e intensidades de línea de los dos motores de los cilindros laminadores, y el del motor del enrollador), lo cual incrementa la complejidad del sistema, al igual que la dependencia de un mayor número de operarios, o una mayor carga laboral para los ya designados..

4.2 Fase II: Identificar los componentes y elementos del prototipo electrónico para la medición de las variables de interés en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa

En conformidad con los datos recolectados durante la fase de diagnóstico de la línea de colada continua y la respectiva instrumentación en estudio, y con la finalidad de realizar el diseño de un prototipo apropiado para el proceso en cuestión, se procedió entonces a la identificación y estudio de los distintos elementos de sensado y componentes adicionales cuyas especificaciones técnicas sean propicias para satisfacer los requisitos necesarios para efectuar el monitoreo de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad de rotación e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

4.2.1 Evaluación de los sensores de temperatura

Actualmente, en la línea IV de colada continua de CVG Alucasa, se emplea como elemento primario de medición de temperatura, una termocupla tipo K, tanto para el horno de fundición, como el de retención, las cuales se encuentran completamente operativas, pudiendo visualizarse la primera de estas en la figura 26.



Figura 26: Termocupla tipo K del horno de fundición.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

No obstante, con la finalidad de plantear una propuesta asertiva, se evaluaron otros tipos de sensores de temperatura, para lo cual, se tuvo en cuenta el valor nominal del punto de trabajo del proceso de colada de aluminio, el cual resulta ser de $800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\%$ para ambos hornos de fundición.

Pero ante todo, se descartaron los termómetros de funcionamiento mecánico (es decir, los de vidrio, los bimetálicos, y por bulbo y capilar) ya que naturalmente, al no emitir una señal eléctrica en función de la magnitud medida, esto no permitiría el monitoreo remoto en el cual se basa el prototipo que se busca diseñar, por lo que se consideraron a los elementos eléctricos de medición de temperatura, que se exponen a continuación.

- **Semiconductores:** estos basan su funcionamiento en el efecto de la temperatura de saturación que tiene un semiconductor, y dado que incluso un cambio mínimo de temperatura se ve reflejado en dicha corriente, esto se determina analíticamente mediante las funciones de transferencia, proporcionales a la temperatura en K, $^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{F}$. Así, normalmente, su modo de operación se caracteriza por un elevados coeficiente de temperatura negativo o NTC, es decir, que la resistividad disminuye a medida que aumenta la temperatura, aunado a que emplean un convertidor en su salida para emitir la señal

respectiva en formato digital con una conveniente sensibilidad, de 10 mV/°C, así como un rango de error reducido, de ± 1 °C. No obstante, por operar en un rango de temperaturas de -55 °C a 150 °C, su elección se consideró inapropiada para el proceso de fundición de aluminio.

- Termopares: estos son aquellos cuya construcción se basa en la conexión de dos materiales de distinto isoterma, lo cual, en contacto térmico, genera una diferencia de potencial eléctrico que corresponde a la temperatura percibida, esto varía en función de los materiales empleados. Cabe agregar que un termopar requiere de un proceso de acondicionamiento de la señal en su salida, para lo cual se precisa de una compensación de cero (donde se debe conocer el valor de la temperatura ambiente), pero su robustez y bajo costo en relación a otros sensores de temperatura, convirtieron a este tipo de sensores en una alternativa bastante factible, tanto a nivel económico, como en el apartado técnico-operativo.
- Resistivos: los constituyen las RTD, que permiten medir la temperatura de un determinado conductor, en función de la variación de su resistividad. Estos normalmente están constituidos de hilos de platino, cobre, o níquel, cuyo funcionamiento se describe mediante una variación lineal con un coeficiente de temperatura positivo (o sea, un aumento de la temperatura se corresponde con un incremento de la resistencia). El material más común de construcción de los hilos de los dispositivos RTD suele ser el platino, el cual permite una
así como linealidad entre los rangos de temperatura de -200°C y 850°C.

Por otro lado, si se emplea una fibra de cerámica con acero inoxidable protegido, se alcanza un rango máximo de este tipo de sensores, o sea de 0 a 1000 °C. Así, un RTD, con la adición de un convertidor o un transductor, se puede amplificar la tensión proporcional a la resistencia, obteniéndose un transmisor inteligente.

Además, aunque los RTD cuentan con una buena repetitividad y exactitud, y son uno de los tipos de sensores de temperatura más estables en el tiempo, al estar hechos de materiales como platino, suelen ser costosos, aunado a que cuentan con otros inconvenientes, como ser muchos mayores en tamaño y masa que los termopares y termistores, así como ser más susceptibles a los golpes que estos últimos. Por lo que su relación costo-beneficio, se determinó como no apropiada para la aplicación en cuestión.

En consecuencia, se concluyó entonces que la implementación de termopares tipo K (conformados por una aleación de cromo-aluminio que opera en un rango de $-184\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1260\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\%$, con una sensibilidad de $39\text{ }^{\circ}\text{C}$), resulta la opción más conveniente, por lo que se aprovecharán las dos termocuplas presentes en el horno de fundición y en el de retención de la línea IV de colada continua. Esto ya que el acondicionamiento de las salidas de los termopares es sumamente sencillo, algo que de cualquier manera, se vería compensado por su alta durabilidad y estabilidad, además de contar con otras cualidades beneficiosas, como tener una rápida velocidad de reacción ante las variaciones térmicas, y una linealidad y exactitud aceptables para un proceso de fundición de aluminio, donde no se requiere de una exactitud tan alta como la que ofrece una RTD.

4.2.2 Evaluación de los sensores de velocidad de rotación

En el sistema de medición actual, se emplea un tacómetro de tipo dínamo tacométrico, el cual se encuentra en óptimas condiciones, sin embargo, se consideró conveniente evaluar qué otras tecnologías podrían suplantarlo, de ser necesario. Entonces, en función criterios similares a los establecidos durante la evaluación de los medidores de temperatura, con los de velocidad de rotación (tanto para los dos motores del elemento laminador, como para el motor de la enrolladora) también se compararon los diversos tipos de tacómetros disponibles, teniendo en consideración, la necesidad de contar con una señal eléctrica en su salida para efectuar el monitoreo de su valor.

- Mecánicos: estos, se encargan de detectar el número de vueltas que describe el eje de una máquina, pudiendo incorporar un elemento de medición temporal para determinar las RPM y la frecuencia con que realiza las revoluciones. Por ende, dado que no ofrecen una señal eléctrica de salida, no se consideró que un tacómetro mecánico sea el elemento indicado para la aplicación de la presente investigación.
- Eléctricos: se valen de sistemas de este tipo para medir las revoluciones por minuto y la frecuencia de un equipo, contando con incontables aplicaciones ya ofrecen una señal eléctrica en su salida, incrementando su flexibilidad con diversos sistemas, así se estudiaron las siguientes clases.

Tacómetro de corrientes parasitas: se valen de un imán permanente acoplado en una copa de aluminio en su eje, que al girar la máquina, induce corrientes parasitas en el aluminio, que son proporcionales a la velocidad medida, pero, dado que se emplea un resorte para frenar dicho cabezal del aluminio y mantenerlo en una posición que permite indicar la medida en un dial, no brinda una señal eléctrica para transmitir al sistema de monitoreo, así que se descartó su uso.

Tacómetro de corriente alterna: este sigue el principio de operación de un motor de inducción bifásico de jaula de ardilla, induciendo una corriente alterna proporcional a la velocidad de rotación. Por ende, se prescindió de este tipo, pues a pesar de ser más duraderos que los DC (ya que por su construcción, se obvia el factor fricción que supone el contacto físico entre el medidor y el eje de la máquina), tener menos rizado a la salida, y ser normalmente más baratos; también cuentan con ciertas desventajas, porque solo miden velocidad en una dirección (brindando menor versatilidad), los cambios en el voltaje de alimentación pueden afectar su medición, y requieren de un proceso de calibración más complejo, así como de una etapa

de rectificación, dada su salida en AC, en comparación a los otros tipos de tacómetros.

Tacómetro de corriente continua: también es conocido como dínamo tacométrico al operar como si fuera un dinamómetro, de tal forma que al girar su eje a través de un acoplador, produce una tensión continua en las escobillas del rotor proporcional a la velocidad de giro. Teniendo una exactitud en la medida de aproximadamente $\pm 0,5\%$, y velocidades de hasta las 6000 R.P.M.

Tacómetro de frecuencia incremental: este mide la frecuencia de una señal de corriente alterna, empleando un sensor de proximidad, magnético, o capacitivo, dispuesto en cercanía al componente móvil (que puede ser un diente de engranaje, por ejemplo). De cualquier manera, tal como se detalló a profundidad en el marco teórico, genera en su salida, un cierto número de impulsos sumamente precisos, teniendo una exactitud de $\pm 0,1\%$, con un excelente rango de velocidad (de 0,01 RPM a 120,000 RPM), y una salida de 0 a 10 V DC, por lo que resultaron una opción interesante, pues su instalación es sencilla, no requiere de constantes mantenimientos, y tiene salida en formato digital, es decir, prescinde de conversores A/D, no obstante, su baja amplitud de señal lo hace vulnerable al ruido.

Y en cuanto a los tacómetros de frecuencia absoluta, es importante recapitular que dependen de un sensor óptico, es decir, la señal DC en su salida, se codifica con respecto a la posición de un elemento móvil (regla o disco), en función a una referencia interna. De las que se tienen varias pistas, donde cada una representa un bit de salida y zonas diferenciadas con un sistema de codificación de código binario natural (para la indicación de velocidad), BCD (para las comunicaciones), o Gray (identificación de posición). De esta forma, la implementación de este último tipo también se consideró interesante, gracias a la naturaleza de su salida, sin embargo, a largo plazo, cuenta con el inconveniente que supone el cambio de la fuente

de luz, lo cual debe efectuarse cada cinco años, aproximadamente, lo que incurrió en su descarte.

En consecuencia, con todo lo considerado previamente, se mantuvo el uso del dínamo tacométrico para la medición de velocidad de rotación de los tres motores de la línea IV de colada continua, ya que las características de su modo de operación se alinean con los requerimientos operativos de la aplicación del prototipo, aparte de contar con una salida DC altamente lineal (únicamente susceptible siempre a fuentes de ruido magnético), y con excelente exactitud, además de no padecer de la acción de transformador que dispare un voltaje residual a velocidad cero.

Sin embargo, al ser en esencia un generador DC, hereda la condición de requerir el cambio periódico de sus escobillas, pues de descuidar este aspecto, la formación de arcos en el contacto del conmutador debido al desgaste de escobillas puede generar chisporroteos. Finalmente, se planteó como interesante considerar la hipotética implementación de un encoder incremental, pues sus prestaciones cuentan con excelentes intervalos de trabajo, no obstante, se mantuvo el veredicto anterior, al estar el sistema de transmisión de señales adaptado al tacómetro DC implementado en los motores de la línea IV de colada continua, del que puede apreciarse uno de los implementados en planta en la figura 27.



Figura 27: Tacómetro dinamoétrico del motor del enrollador

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

4.2.3 Evaluación de los sensores de intensidad de corriente

Actualmente, en los motores de los dos cilindros de laminación, y en el motor del enrollador, se emplean transformadores de corriente para medir la intensidad de línea suministrada a dichas máquinas eléctricas (en la figura 28, se aprecian los usados en el motor laminador superior), con la finalidad de evaluar que el consumo se encuentre dentro de los valores establecidos, de $90\% \pm 2\%$ de la potencia nominal de cada máquina, según sea el caso. No obstante, resultó conveniente justificar su elección, con la finalidad de determinar si se cuentan con oportunidades de mejora en cuanto a instrumentación, por lo que se procedió con un criterio similar a las evaluaciones de los sensores de temperatura y de velocidad de rotación.



Figura 28: Transformador de corriente del motor del enrollador

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

Así, de partida, se descartaron los amperímetros convencionales, tanto analógicos, como digitales, ya que para cumplir su función, requieren de la apertura de un segmento del circuito eléctrico para ser conectados en serie, de una manera tal que resulta complicada, potencialmente peligrosa y propensa a fallas en sistemas de potencia, pues esto implica la alteración del sistema de conductores.

Por ende, la elección se orientó en función de los medidores de campos electromagnéticos o flujos de corriente, ya que al determinar el valor de la intensidad en función del campo magnético que genera, permiten efectuar la medida de una manera más segura y confiable, para lo cual, se sopesó entre los dos siguientes tipos.

Sensor de efecto Hall: funcionan con base en el efecto homónimo descubierto por el físico estadounidense Edwin Hall, haciendo pasar el conductor de interés a través de su núcleo abierto, con la finalidad de medir corrientes AC o DC. Por ello, apuntando a medir la corriente de línea de los motores de interés, se tuvieron como una alternativa interesante, pero que de igual forma, se descartaron debido a que su precisión disminuye al incrementar los rangos de corriente, aunado a que requieren de una pequeña fuente de alimentación para funcionar, que a pesar de no ser un elemento complejo, incrementa la cantidad de elementos del sistema, y se trata de una consideración adicional que es prescindible en otros elementos primarios de medición, como el siguiente.

- Transformador de corriente: estos se emplean para efectuar la medición de corriente alterna, a través de sensores inductivos conformados por un devanado primario (que se conecta en serie al sistema cuya corriente se desea medir, de la forma en que se muestra en la figura 13); un núcleo magnético; y un devanado secundario, que describe una relación de vueltas entre devanados, mediante la cual, se reduce el amperaje de la corriente a medir, para conectar una impedancia de carga en el secundario, cuya medición de tensión, hace posible determinar la corriente.

Por ende, se concluyó que este tipo de sensor era el adecuado para llevar a cabo la medida de las corrientes, pues a pesar de tener que conectar en serie el circuito de interés al devanado primario, la instalación resulta más factible de implementar en conformidad con los parámetros operacionales del proceso, aunado a que al tratarse ante todo, de un transformador, que además de tener una relación de transformación tal que reduce al valor de la corriente hasta un intervalo fácil de manipular, también

cuenta con la ventaja de efectuar el aislamiento eléctrico del sistema, reduciendo los índices de riesgos inherentes a este. Por otro lado, los CTs se consideraron más propicios para este caso, dado que suelen disminuir su margen de error a medida que incrementa el valor de la corriente a medir.

Es importante acotar, además, que para efectuar la medición de la carga, se mide la corriente de línea, es decir, previo a los segmentos de rectificación a la entrada de los motores DC, dado que esto permite el estudio del consumo energético del sistema de motores en estudio, y con ello, la evaluación de las sobre-corrientes, que pueden deberse a sobrecargas, falta de mantenimiento, o atascamientos de las bandas de aluminio, por ejemplo; o corrientes por debajo del valor nominal, que indicarían la presencia de alguna condición de falla como lo es la pérdida de carga mecánica.

4.2.4 Identificación y selección de los elementos necesarios para conformar el prototipo electrónico del sistema de medición

Entonces, contando ya con la infraestructura concerniente a los sensores de las variables de interés, se procedió a seleccionar un circuito integrado microcontrolador, con la finalidad de procesar las señales del sistema de provenientes de los sensores, para poder transmitirlos adecuadamente a los sistemas de indicación remotos. Por ello, apuntando a implementar una tecnología novedosa y accesible, se optó por un módulo ESP32 WROOM 32U, capaz de establecer la interconexión digital, mediante un sistema de IoT, por lo que fungirá como núcleo del prototipo.

Por otro lado, en cuanto a las señales de los sensores que captan las variables de interés, se tienen por un lado a los termopares tipo K de los hornos de fundición y retención, los cuales requieren de una etapa de acondicionamiento de sus señales, siendo necesario implementar dos módulos MAX6675 para ello.

De forma alternativa, resulta importante detallar que es en el elemento microprocesador S600 del sistema de automatización de la máquina 3C840, donde se obtuvo el acceso a los terminales de salidas de las tarjetas de escalamiento que estandarizan las señales de las mediciones de velocidad de rotación e intensidad de

línea de los motores de los dos cilindros de laminación y el de la enrolladora, en un intervalo de 0 a 10 V DC $\pm 0,2\%$ analógicos, y cuya implementación resultó clave para la toma de señales de las variables de interés para las entradas del prototipo del sistema de monitoreo, sin embargo, dado que el módulo ESP32 es capaz de soportar entradas de hasta 3.3 V DC, es imprescindible aplicar divisores de voltaje para parametrizar la magnitud de dichas señales, gracias al uso de resistencias eléctricas.

Aunado a esto, también es preciso mencionar los elementos electrónicos misceláneos necesarios para armar el prototipo, como el protoboard donde todo se conectará mediante cables dupont (macho-hembra) y/o cable de par trenzado UTP, el adaptador USB de 120 V RMS a 5V DC 1 A y su respectivo cable USB 2.0, tipo A-macho a micro-B para energizar al ESP32 y cargar el código que lo gestiona, y seis terminales de bloque hembra de 2 entradas para recibir los conductores desde los cuales se recibirán las señales a sensar.

Todos estos componentes seleccionados, se encuentran en el cuadro 2, donde además, puede apreciarse la cantidad necesaria, y el costo, tanto unitario, como total por componente, y por el circuito, a lo cual, se aprovecha para adicionar los costos que supone para CVG Alucasa, la producción del prototipo una vez realizada la propuesta de diseño que abarca el alcance del presente proyecto, lo cual incluye desde la baquelita perforada de 9cmx7cm, donde se colocan los componentes, hasta los costos de soldadura, y demás gastos misceláneos relacionados.

Cuadro 2: Costo total y unitario de los componentes que constituyen el prototipo del sistema de monitoreo.

Elemento	Cantidad	Costo/unit. (\$)	Costo tot. (\$)
Módulo MAX 6675	2	9	18
ESP32 WROOM 32U	1	13	13
Paquete de 30 cables dupont (macho-hembra)	1	2	2
Resistencias eléctrica (paquete de 25 piezas)	1	2	2
Adaptador USB 120 V AC - 5V DC 1A	1	2	2
Cable USB 2.0, tipo A-macho a micro-B (50 cm)	1	2	2
Cable de par trenzado UTP (1 m)	1	2	2
Protoboard 3 pistas	1	33	33
Terminal de bloque hembra 2 entradas	6	1,33	8
Costos de producción (baquelita perforada 7x9 cm, soldadura y case)	1	18	18
		Total (\$):	100

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

4.3 Fase III: Evaluar la factibilidad económica, técnica y operativa del prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa

En la tercera fase, se evaluó la factibilidad económica de la construcción del prototipo electrónico, a través de un estudio de costos a futuro, conforme al precio de los elementos individuales que conforman el diseño, y de cualquier material, elemento o dispositivo necesario para la realización del prototipo.

4.3.1 Factibilidad económica

Maldonado (s.f.), propone que la factibilidad económica:

Se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos y/o para obtener los recursos básicos que deben considerarse son el costo del tiempo, el costo de la realización y el costo de adquirir nuevos recursos (p. 151).

En consecuencia, constituye un factor de vital importancia al evaluar la factibilidad neta de todo proyecto, pues es la base para solventar posibles carencias en otros recursos. Por ello, para la materialización del sistema de monitoreo en cuestión, se efectuó una selección meticulosa de aquellos componentes que brindaran una excelente relación costo-beneficio, con el fin de garantizar un funcionamiento confiable y robusto, sin sacrificar la factibilidad económica del mismo. Así, tanto los componentes empleados en la construcción del diseño, sus costos unitarios y totales conforme a la cantidad empleada, pueden apreciarse en el cuadro 2.

De esta manera, se efectuó un estudio detallado de factibilidad económica de una implementación práctica del presente prototipo, así como la comparación de la misma con otras dos alternativas: el hecho de no invertir y mantener las condiciones de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa, y con el costo de implementar otro dispositivo que permita el monitoreo remoto de las variables de interés.

4.3.1.1 Factibilidad económica de la implementación del prototipo diseñado en la investigación en curso

En función de lo dispuesto en cuadro 1, se parametrizaron los valores para obtenerlos por periodicidad anual, y calcular los flujos monetarios netos de cada año de la vida útil del proyecto, la cual, en función de lo recopilado en *Is Arduino Used in Real Life Products?* (s.f.), se estimó en aproximadamente 5 años de servicio asegurado, al ser un dispositivo de uso constate, pues debe permanecer encendido durante todo el proceso de colada, que en teoría, debe extenderse, como mínimo, 144 horas por semana, con un valor de retorno prácticamente nulo y considerando una depreciación anual siguiendo el modelo de la línea recta, y aunado a ello, la consideración de los flujos monetarios correspondientes a los costos del I. S. L. R., en conformidad con lo estipulado en la *Tabla de Retenciones I.S.L.R.* (2021).

Lo anterior, con la finalidad de calcular el valor actual del proyecto, la cual fue de 1 504 606.70 \$, dicho resultado, denota que los ingresos potenciales son superiores a los costos, incluyendo la tasa mínima de rendimiento (establecida en el 100%), en una cantidad igual a 1 504 606.70 \$, en el punto cero de la escala de tiempo, es decir, que dicha cifra, se reporta como un beneficio en el punto cero, luego de cubrir el rendimiento establecido, indicando que el proyecto resulta rentable, pues entre otras mejoras, permitió reducir las paradas de la línea de colada continua a solo unas tres por mes. Este proceso de cálculo puede apreciarse tabulado en el apéndice D.

4.3.1.2 Factibilidad económica de no implementar una mejora en el sistema de monitoreo

Para validar el impacto beneficioso que tendría la implementación del prototipo a diseñar, es pertinente evaluar la factibilidad económica asociada a la elección de no invertir en la mejora del sistema de monitoreo de las variables de interés en la línea IV de colada continua, para ello, se efectuó un análisis similar al anterior, pero considerando que actualmente, el sistema sufre, en promedio, de unas 30 paradas mensuales de la línea de colada continua, lo que implica no solamente detener la producción, sino también, precisa de cuantiosos gastos para poder efectuar la reactivación del sistema, al ser necesario el cambio de las piezas principales de los inyectores de metal líquido, sin contar las 12 horas que suele tomar el proceso de re-arranque, entre los demás imprevistos que surjan sobre la marcha.

En definitiva, para una base de 5 años, para cumplir con el principio de que todas las alternativas deben ser comparadas en el mismo período, se determinó que el valor actual de la elección que supone no invertir, es de -251 606.86\$, una preocupante cifra en comparación a la que se lograría de implementarse el proyecto, pues en este caso, después de tomar en cuenta la tasa mínima de rendimiento, en el punto cero de la escala de tiempo, se tiene una pérdida de 251 606.86 \$. Por su parte, este proceso de cálculo puede verse tabulado en el apéndice E.

4.3.1.3 Factibilidad económica de la implementación de otro sistema de monitoreo remoto disponible en el mercado

De forma similar a la anterior, también se comparó la implementación del prototipo con otra alternativa, en este caso, un sistema de monitoreo remoto, específicamente el sensor inalámbrico modelo BB-WSD2C21150 de la firma *Wzzard*TM (ver figura 29), el cual, por un costo unitario de 432 \$, desempeña una función similar a la del prototipo, y que además de dos entradas analógicas de 0 a 10 V DC \pm 0,1%, y una entrada y una salida digitales de 5 V DC, cuenta con entradas para dos termopares y dos termistores. También tiene otras especificaciones técnicas, como ser compatible con diversos tipos de termocupla y ser capaz de formar parte de una red inalámbrica de sensores gracias al estándar 802.15.4e (*BB-WSD2C21150*, s.f.).



Figura 29: Sensor inalámbrico modelo BB-WSD2C21150 *Wzzard*TM

Fuente: *BB-WSD2C21150*, (s.f.).

No obstante, aún si cada uno de estos equipos cuenta con dos entradas para termopares, y que de hecho, sea compatible con los de tipo K, que son los implementados en el horno de fundición y en el de retención; debido a que en el sistema de monitoreo de la línea IV de colada continua precisa de seis entradas analógicas, provenientes de las salidas de las tarjetas de escalamiento del S600 de la

máquina 3C840, para medir tanto la velocidad de giro como la intensidad de corriente de línea de los tres motores de interés, se requerirían, como mínimo tres unidades de BB-WSD2C21150, suponiendo que las termocuplas de los dos hornos se conecten uno de estos, por lo que implicaría un costo total de 1296 \$ y la implementación de un sistema más complejo que el del prototipo basado en el ESP32.

En este caso, el valor actual de la hipotética implementación de este sistema (suponiendo una vida útil de unos 10 años, se excluyen del análisis los flujos monetarios posteriores a los primeros cinco años), se estimó en 1 583 122.66 \$ (ver apéndice F), bastante cercano al valor actual del proyecto en realización, pues, considerando la tasa mínima de rendimiento, los ingresos del proyecto sobrepasan sus costos en el punto cero de la escala de tiempo por la cifra antes mencionada. Aun así, a pesar de ofrecer un desempeño un poco superior al del prototipo en cuestión (con una vida útil de mucho mayor alcance), la relación calidad precio de este último mucho menor en comparación a la que se lograría de implementarse el proyecto. Así, el prototipo resulta interesante, debido a la flexibilidad tanto en el apartado técnico como en el operativo que lo caracteriza, justo como se detalla en breve.

4.3.2 Factibilidad técnica

Se puede asegurar que el proyecto en cuestión, resultó factible en cuanto al apartado técnico, plateando una mejora notoria con respecto al sistema de monitoreo previo, sabiendo que según Maldonado (s.f.), la factibilidad técnica se define como:

Los recursos necesarios como herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos que requiere el proyecto. Generalmente nos referimos a elementos tangibles (medibles). El proyecto debe considerar si los recursos técnicos actuales son suficientes o deben complementarse (p. 151).

Esto se sustenta con base en que se aprovechó la infraestructura de los sensores de temperatura del horno de fundición y del de retención, y de velocidad de giro e

intensidad de línea de los cilindros aplanadores y de la enrolladora en planta, ya que se tomó la señal analógica de salida estandarizada de 0 a 10 VDC de las tarjetas de escalamiento conectadas al microprocesador S600, junto al hecho que, el módulo ESP32, los adaptadores que se requieren para acondicionar las señales provenientes de las termocuplas, y los demás componentes electrónicos discretos, son dispositivos de dimensiones reducidas, que resultan fácilmente integrables a los equipos en planta sin entorpecer el desempeño del proceso, ni incomodar a los operarios respectivos, contando el proyecto con una intrusión prácticamente nula dentro de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa.

De forma complementaria, el uso de una plataforma de desarrollo de software y hardware libres, como Arduino, al ser de código libre, facilita considerablemente su implementación, pues su flexibilidad propicia la ampliación de sus proyectos, la integración con tecnologías de terceros, así como gracias a su celebridad, cuenta con un grueso de antecedentes de aplicaciones que fungen como guía, aparte de resultar relativamente sencillo de localizar en el mercado, todo ello sin sacrificar su calidad, desempeño, y bajo costo. De hecho, aunque se ha empleado el módulo ESP32 WROOM 32U, hubiera sido posible emplear otros modelos equivalentes en funcionamiento; del mismo modo, de dificultarse la accesibilidad a los demás acondicionadores y componentes electrónicos discretos, cualquier equivalente técnico, solventará esta hipotética situación.

Aunado a lo anterior, dado que se aprovechó el computador y el monitor del sistema antiguo de monitoreo de la máquina 3C840 en el área de indicación en planta para efectuar la observación de las variables, y se hará uso de la red Wi-Fi autóctona de la compañía para llevar a cabo la comunicación, el costo de implementación se reduce al contar con esta infraestructura.

4.3.3 Factibilidad operativa

Partiendo de lo propuesto por Maldonado (s.f.), la factibilidad operativa:

Se refiere a todos aquellos recursos donde interviene algún tipo de actividad (Procesos), depende de los recursos humanos que participen durante la operación del proyecto. Durante esta etapa se identifican todas aquellas actividades que son necesarias para lograr el objetivo y se evalúa y determina todo lo necesario para llevarla a cabo (p.152).

Y en función de ello, se determinó que el proyecto satisface lo establecido en la definición, al tratarse de un sistema sencillo, pero con un impacto beneficioso y notorio garantizando su uso y operación, pues tanto el hardware, como la interfaz del web, que permite el registro de la data, son sumamente ergonómicos e intuitivos, por lo cual, es fácil adaptarse a su uso para sacar el máximo provecho de sus prestaciones, que en línea general, indican los valores de las variables de interés, junto al rango de valores que abarca el Set-Point, para que el usuario determine si se encuentran o no dentro de los intervalos idóneos para el proceso de colada continua.

Además, la inicialización y el uso del prototipo son sencillos, para lo cual, solo son necesarios conocimientos básicos de electrónica, y claramente, la comprensión del funcionamiento de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa, esto para determinar si las mediciones en pantalla se muestran congruentes con lo que ocurre en el proceso, así como para solventar cualquier condición de falla que se encuentre dentro del rango de funciones del puesto de operario. Del mismo modo, es conveniente contar con nociones de programación, para dilucidar una idea general del funcionamiento del dispositivo, sin embargo, no es imprescindible a menos que se requiera efectuar cambios o ajustes en el código.

4.4 Fase IV: Implementar y probar el prototipo electrónico para la medición de las variables de temperatura de los hornos de fundición, y velocidad e intensidad de los cilindros, de acuerdo a las magnitudes de las variables de proceso a las que opera la línea IV de colada continua en CVG Alucasa

Por último, esta fase abarca la construcción de prototipo electrónico basado en el diseño realizado, y de esta manera, comprobar el comportamiento correcto de acuerdo a las variables de medición.

4.4.1 Software

4.4.1.1 ThingSpeak - Base de datos

ThingSpeak consiste una Plataforma de IoT (internet de las cosas), diseñada por MathWorks, la cual permite recopilar y almacenar datos a en un servidor en la nube, ofreciendo además, servicios de visualización y análisis por medio de MATLAB, de los datos que, tal como es el caso del prototipo implementado, provienen de sensores cuyos registros son enviados a internet, gracias al módulo ESP32 implementado.

De esta forma, la información es almacenada en un canal que cuenta con varios campos, donde en cada uno se puede almacenar los registros de distintas variables de medición, y así, a través de una misma conexión, es posible enviar valores de manera simultánea, mientras son almacenados y graficados de forma automática.

Por otro lado, el canal de ThingSpeak puede ser público o privado, y será identificado con un número de canal único. Además, para crear un canal, es necesario registrarse en la plataforma. Y para la lectura y escritura, se debe generar un generar un API Key de lectura y un API Key de escritura, que son códigos que permiten solo la lectura de los datos, o el acceso a la escritura de los datos, respectivamente.

Así mismo, la recolección de datos del dispositivo del presente proyecto se logró gracias a la membresía gratuita que ofrece la plataforma en cuestión. Cabe agregar que, la compatibilidad con el modulo implementado, se estableció mediante la librería “ThinSpeak.h”, permitiendo definir, a nivel de software, el canal al cual va a ser enviado cada variable de sensado, así como gestionar a qué campo del canal va a ser asignada una determinada variable, para la aplicación en cuestión, se designó la siguiente configuración:

- Campo 1: Temperatura del horno de fundición
- Campo 2: Intensidad de corriente del motor DC de la enrolladora.
- Campo 3: Velocidad del motor DC de la enrolladora.
- Campo 4: Intensidad de corriente del motor DC del cilindro superior.
- Campo 5: Velocidad del motor DC del cilindro superior.

- Campo 6: Intensidad de corriente del motor DC del cilindro inferior.
- Campo 7: Velocidad del motor DC del cilindro inferior.
- Campo 8: Temperatura del horno de retención.

4.4.1.2 ESP32 WROOM 32U

El ESP32 WROOM 32U, también conocido simplemente como ESP32 es un chip electrónico que esencialmente, permite la conexión Wi-Fi vía protocolos 802.11 b/g/n (además de también ofrecer conectividad con tecnología Bluetooth 4.2). Así, es uno de los más utilizado para aplicaciones de IoT, dado su bajo costo y buen rendimiento.

El modo de conexión Wi-Fi de dicho módulo, puede ser:

- Soft Access Point (Punto de acceso habilitado por Software), que establece al chip como un punto de acceso.
- STATION, que establece al chip como un cliente capaz de conectarse a través de un punto de acceso.
- Soft Access Point + STATION, estableciendo el chip como un punto de acceso, que de manera simultánea, es capaz de acceder a otro punto de acceso.

Así, se opta por el ultimo modo de conexión, mediante el cual, se crea un punto de acceso al dispositivo electrónico, cuyo SSID es “ESP32_AP”, en el cual se puede conectar cualquier dispositivo compatible con los protocolos Wi-Fi previamente mencionados (pudiendo configurar una contraseña, siendo “12345678”, en este caso, por practicidad). Luego de ello, ingresando a la dirección “http://192.168.4.1”, se muestra una interfaz de aplicación para cualquier dispositivo conectado al punto de acceso, a través del IP local del dispositivo 192.168.4.1 (que se mantiene fija). De esta forma, es por medio de esta interfaz que se administra y configura el dispositivo para efectuar la conexión a otros puntos de acceso con conexión a internet, y de igual manera, en ausencia de conexión a internet, esta interfaz permite observar la lectura de las variables de interés de forma local.

También, deben listarse las funciones lógicas de la interfaz, las cuales se dividen en:

- Configuración de dispositivo: permite el escaneo de otras redes, al igual que ingresar y guardar en la EEPROM una nueva red de punto de acceso.
- Conexión a internet: de acuerdo a la red guardada en la EEPROM, establecer la conexión a internet.
- Medición de variables: cada variable de medición se corresponde con un botón lógico de la interfaz de aplicación, que de acuerdo a la selección, muestra la medición de la variable respectiva.

Además, la interfaz de la aplicación admite su implementación a través de HTML, que forma a ser una variable String en el uso del código Arduino. Del mismo modo, la interfaz mencionada, se divide de manera similar que las funciones lógicas, en tres páginas:

- Inicio: permite el re-direccionamiento a las demás páginas, y acciona la función de conexión a través de un botón.
- Configuración: muestra un formulario de usuario y clave de la red Wi-Fi, a su vez a través de un botón acciona la función de escaneo de las redes, para facilitar el acceso a la red de interés.
- Medición de variables: refleja el botón de cada una de las variables monitoreadas, de esta manera, acciona la función de medición de la misma, mostrando el valor que le corresponde.

4.4.1.3 Medición de variables

4.4.1.3.1 Hornos de fundición

Las salidas analógicas de cada termocupla tipo K son acondicionadas a través del componente semiconductor MAX6675, que permite amplificar, compensar y realizar una conversión analógica-digital de dichas señales, por lo tanto, la salida del dispositivo es digital de 12 bits, con una resolución de 0.25°C. Siendo apropiada la temperatura del set point del horno de fundición y de retención (800°C).

Es decir, para cada uno de los hornos, el componente MAX6675 recibe como entrada la señal analógica de la termocupla tipo K y entrega al módulo Arduino la señal digital mediante el PIN “SO”, así como tiene otros pines que, permiten la sincronización con el reloj del dispositivo (CLK); otro (CS) que indica si la termocupla se encuentra en circuito abierto, lo que ayuda a determinar si presenta alguna falla o malfuncionamiento, además de los terminales de VCC y de tierra.

Una vez conectado el componente MAX6675, el dispositivo se inicia de forma instantánea, con un tiempo de conversión máximo de 0.22 segundos, permitiendo la representación de la lectura en grados Celsius o Fahrenheit, pero que, por atenerse a lo establecido en el Sistema Internacional de unidades, se configura para mostrar únicamente la magnitud en grados Celsius.

4.4.1.3.2 Cilindros y Enrolladora

El sensado de la velocidad de rotación de los motores, tanto de los cilindros de laminación, como del enrollador, proviene de un dínamo tacométrico acoplado en el eje en cada motor; dicha señal es acondicionada por una tarjeta de escalamiento en el microprocesador (S600) del sistema de automatización de la máquina de colada 3C840, en un rango de 0 a 10 Voltios DC analógicos $\pm 0,2\%$, en el intervalo de magnitudes de operación de velocidad de cada motor. Por su parte, el sensado de la intensidad de corriente de línea de dichos motores, se logra mediante un transformador de intensidad, que de igual manera al caso anterior, se estandariza la señal de su salida gracias a una tarjeta de escalamiento, dentro del mismo intervalo, en conformidad con el rango de operaciones de cada motor, donde 0 V y 10 V corresponden al valor mínimo y máximo de las corrientes de línea de cada motor.

En el caso de los motores DC de los cilindros, que tienen un rango de velocidad de rotación de 0 a 2150 RPM, y de intensidad de línea de 0 a 155 A RMS. Para obtener el valor correspondiente de la salida del acondicionador, se realizan los cálculos matemáticos de acuerdo a las fórmulas 1 y 2, respectivamente.

Para el motor del enrollador, cuyo rango de velocidad de rotación es de 0 a 2460 RPM, con una intensidad de línea de 0 a 56 A RMS. Se obtiene el valor correspondiente de la variable luego del elemento acondicionador, mediante los cálculos matemáticos de acuerdo a las expresiones 3 y 4, según sea el caso.

Así, de acuerdo a las formulas anteriores, luego de ser calculadas a través del módulo ESP32, se comprueba la conexión a internet y de ser estable, se envía la magnitud de la variable al campo correspondiente del canal de ThingSpeak. No obstante, de no disponerse de una conexión a internet se pueden observar las variables de forma directa en la aplicación.

4.4.2 Hardware

El centro del prototipo se trata del ESP32, el cual es un kit de desarrollo de firmware que integra el chip integrado ESP32 WROOM 32U, el cual permite la implementación de los protocolos 802.11b, 802.11g, o 802.11n, en el rango de 2.4 GHz (donde se tienen 14 canales designados, espaciados 5 MHz entre sí, dispuestos entre los rangos de 2,401-2,423 GHz, y de 2,473-2,495 GHz). Además, se puede destacar que cuenta con 32 GPIO programables (acrónimo de Entrada/Salida de Propósito General), de los cuales, 6 son GPI (pines programables únicamente como entradas digitales); además de 16 canales que disponen de un ADC a 12 bits, entre pines destinados a cumplir otras funciones, que junto a los anteriores, pueden apreciarse en la figura 30.

· : Voltaje de entrada

Aunado a lo anterior, debe tenerse en cuenta que la corriente nominal por pin es de 12mA, por lo tanto, si se toma un valor de , a un valor máximo de 10V, correspondería una corriente máxima de pues aún no se está considerando el otro resistor, lográndose mantener en un valor apropiado. Del mismo modo, al requerir que el voltaje de salida del divisor sea 3.3 V cuando el de entrada sea 10 V, se despeja el valor de de la ecuación 5, se obtiene:

$$\text{-----} \quad \text{-----}$$

No obstante, al no ser un valor de resistencia comercial, se puede implementar uno mayor, pues se reduce el valor del voltaje de salida para una entrada de 10V. Así, se escoge el valor estándar de resistencia . Lo que equivale una relación entre el voltaje de entrada y salida indicada en la ecuación 6.

$$\text{-----} \quad \text{-----} \quad \text{-----}$$

Como la señal acondicionada de medición es la de interés, correspondiente al voltaje de entrada del divisor de tensión, se despejó de la ecuación 6 para hallar la ecuación 7.

$$\text{-----}$$

Así, se sabe que un ADC requiere de un voltaje de referencia con el que la entrada analógica se compara para producir una salida digital, la cual no es más que la relación de la entrada analógica con respecto a la referencia o voltaje máximo de la entrada, que en cuestión sería de 3,3 V, por lo tanto, una entrada analógica, en este caso (la salida del divisor de tensión), se corresponde con el valor digital que resulte de la ecuación 8, y considerando que los ADC del ESP32 operan a una resolución digital de 12 bits, pueden codificar una entrada analógica en 4096 distintos valores, donde 4095 corresponde a un máximo de 3.3 Voltios, y naturalmente, un mínimo de 0 a 0 V.

— —

Seguidamente, resulta de vital importancia hallar la resolución del ADC, pues se trata del menor valor incremental de voltaje que puede ser reconocido, y por ende, causar un cambio de estado en un GPIO. Así, la resolución se expresa como el número de bits de codificación del ADC, siendo de 12 bits para el ESP32, implicando que convertirá la señal analógica que ingrese a sus terminales en una señal digital de 12 bits. Del mismo modo, el menor voltaje incremental, se expresa en términos del bit menos significativo (LSB, por sus siglas en inglés), cuya magnitud se deduce de la ecuación 9.

— —

Sin embargo, dado que el valor de lectura del ADC se encuentra referido al divisor de tensión, y lo que resulta de interés es la parametrización del voltaje de entrada, en conformidad con la relación de la ecuación 7, se efectuó una función de conversión correspondiente en el software, que permita conocer directamente la magnitud del voltaje de entrada de las variables proveniente de las salidas de las tarjetas de escalamiento del S600, es decir para ello, se sustituye la ecuación 6 en la ecuación 8, resultando en la ecuación 10.

— —

También puede deducirse la resolución de esta lectura, la cual se plantea en la expresión 11.

— —

Por lo tanto, en un rango de 0 a 10 voltios de la entrada analógica, se puede medir con una resolución de milivoltios. Por su parte, con estos mismos criterios, se define que para la resolución de los dos motores de los cilindros de laminación, que con un rango de velocidad de 0 a 2150 RPM, e intensidad de línea de

0 a 155 A RMS, corresponden a una resolución de 0,5249 RPM, y 0,0378 A RMS (o 37,84 mA RMS). Por su parte, para el motor DC del enrollador, su rango de velocidad de rotación es de 0 a 2460 RPM, y el de la intensidad de corriente de línea de 0 a 56 A RMS, correspondientes a una resolución de 0,6006 RPM y 0,0137 A RMS (o 13,67 mA RMS).

4.4.2.1 Conexión

La realización del diseño del circuito se implementa por medio Proteus 8.9 Profesional. En la figura 31, se puede observar la rama del divisor de tensión que se aplicó en cada una de las seis entradas analógicas provenientes de las tarjetas de escalamiento del S600.

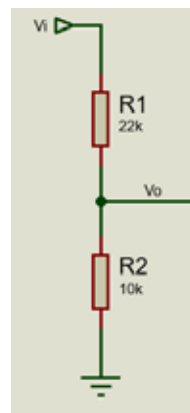


Figura 31: Divisor de tensión.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

Luego, los voltajes de salida de los divisores de tensión se conectaron en las entradas analógicas programadas del ESP32, así como se efectuaron las conexiones de los terminales de tierra correspondientes a cada rama al terminal “G” del módulo. Por otra parte, los componentes MAX6675, descritos anteriormente, tienen tres pines digitales que son conectados a los GPIO establecidos del ESP32 tal como se muestra en la figura 32, además de las conexiones de VCC y Tierra, que deben corresponderse

con las del ESP32. Aunado a ello, se observan dos terminales de salida T+ y T- en cada uno de los MAX6675, los cuales físicamente corresponden a los dos terminales de bloque para la conexión de cada termocupla tipo K, dando como resultado el circuito que puede apreciarse en la figura mencionada previamente.

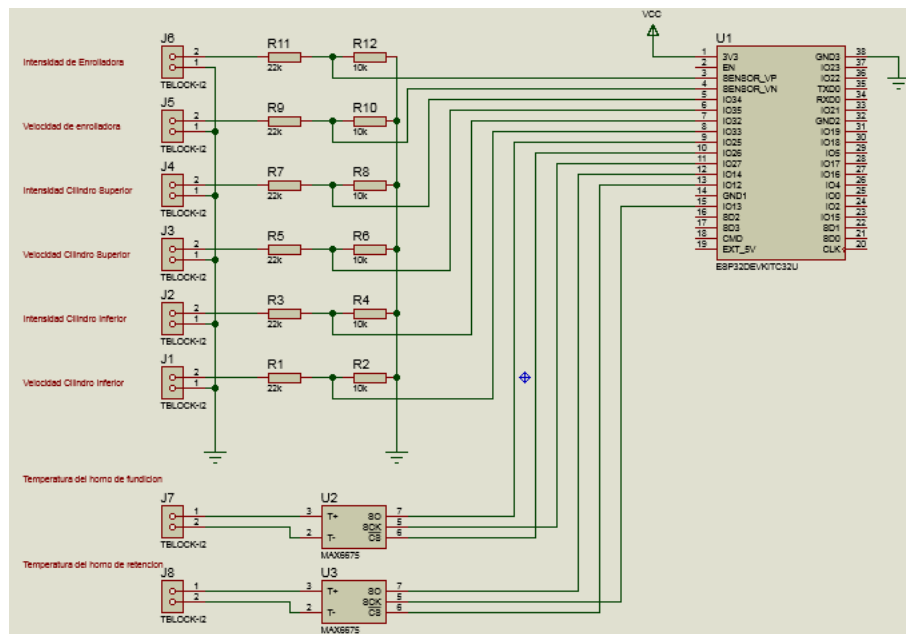


Figura 32: Circuito del prototipo de sensor.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

Finalmente, se procede con los resultados del proceso de diseño planteando el esquema del circuito PCB para impresión con conexiones net de 40.95mm, que se plantea en la figura 33.

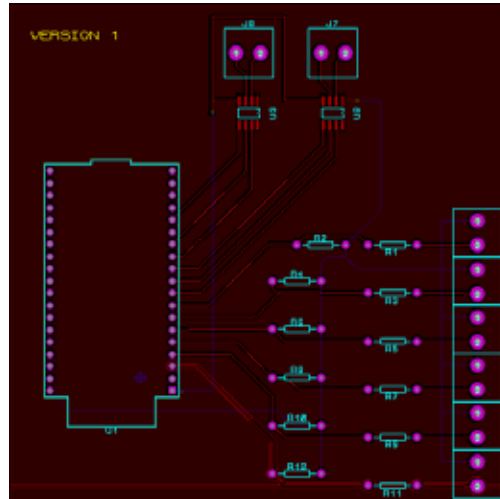


Figura 33: Esquema PCB del prototipo de sensado.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

También, en la figura 34, puede apreciarse el circuito impreso a través del 3D Visualizer de Proteus. Y por último, en la figura 35, se observa el PCB planteado con los componentes añadidos,

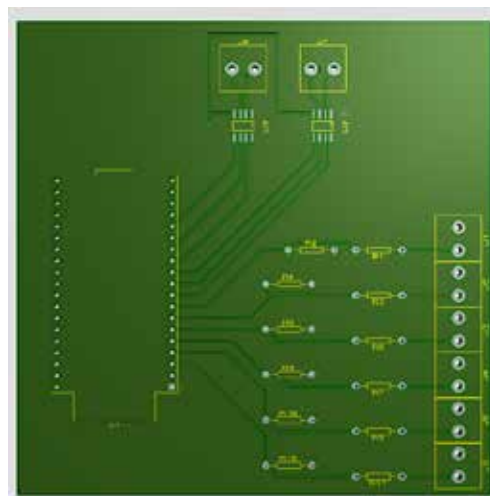


Figura 34: PCB en 3D sin conexión de componentes.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

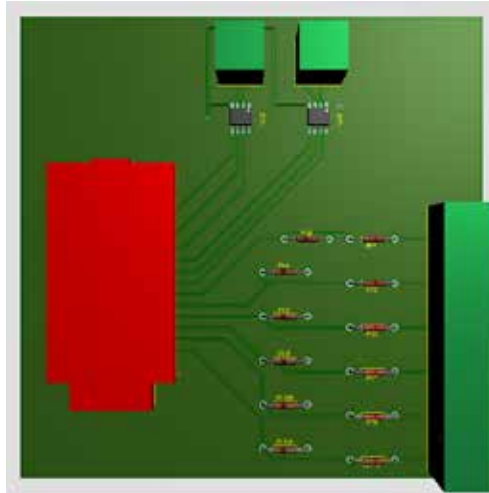


Figura 35: PCB en 3D con conexión de componentes.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

4.4.2.2. Implementación Del Prototipo

Luego de disponer los componentes necesarios para la implementación del circuito (listados en el cuadro 2), se detallan los pasos para realizar el prototipo:

1. Cargar el código del Arduino: antes de efectuar las conexiones eléctricas, se conecta el ESP32 y se carga el código del Arduino, dicha conexión se efectúa mediante un cable USB 2.0, tipo A-macho (de la computadora) a micro-B (al ESP32).
2. Realizar la conexión del circuito (el resultado del montaje puede apreciarse en la figura 36), y colocar adecuadamente los elementos misceláneos según el esquema planteado en la figura 32, para luego energizar el circuito, para lo cual, manteniendo el terminal USB micro-B del cable en el ESP32, el terminal USB tipo A, se desconectará de la computadora para ser conectado al adaptador de 5 V-1 A que permitirá enchufarlo a una toma de corriente.

En este caso, se dispuso de una plataforma de montaje proporcionada por CVG Alucasa, la cual cuenta con una cubierta deslizable, y orificios para fijar a

la estructura el protoboard con el circuito del prototipo, así como orificios para las entradas de las señales.

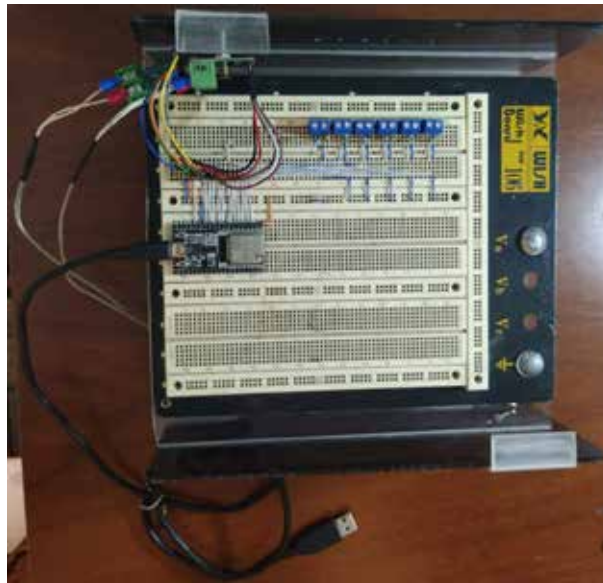


Figura 36: Montaje del prototipo de sensado.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

3. Verificar funcionalidad por medio de la conexión al host del Wi-Fi, ingresando al punto de acceso del módulo ESP, cuyo SSID es “ESP32_AP”, con la contraseña “12345678”.
4. Ingresar a la interfaz web por medio de la dirección: <http://192.168.4.1>
5. En la interfaz, presionar el botón de medición de interés, ya sea para comprobar la funcionalidad de las mediciones de la termocupla, o en caso de las entradas analógicas, aplicar en los terminales de bloque puede, un voltaje dentro del rango de 0 a 10 Voltios.
6. De operar satisfactoriamente, se accede al botón “Nueva Red”, y se escanean las redes Wi-Fi disponibles en la zona para ingresar a la red a la cual se conectará el módulo ESP32 para efectuar la carga de datos. y así introducir el

SSID y la contraseña de la red W-Fi a conectar, en este caso la red de CVG Alucasa.

7. Acceder al botón de “Medición” y enviar a la base de datos la variable a medir
8. Acceder al servidor para visualizar la data, ingresando a la dirección: <https://thingspeak.com/channels/1422188>

En función de lo ya planteado, al tenerse una termocupla de prueba, se comprobó la temperatura mostrada por la interfaz web y de la base de datos conectada. Así, una vez comprobado el dispositivo con las pruebas anteriores, se efectuaron las pruebas correspondientes, coincidiendo con una parada programada de evaluación rutinaria en la línea IV de colada continua de la compañía CVG Alucasa, situada en Guacara.

De esta manera, se validó la variable de temperatura del horno de función y de retención, pero dado que ambos emplean el sistema de medición, para fines de evaluación del prototipo, se comprobó la temperatura del horno de retención. Para lo cual, se utilizó como referencia de la temperatura, la variable obtenida en el pupitre de indicación el horno de retención, cuya indicación se aprecia en la figura 37.



Figura 37: Lectura de temperatura de horno de fundición con el Honeywell.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

Y posteriormente, conectando los terminales de la termocupla empleada en el horno de retención, directamente a los bornes del MAX6675, e ingresando a la interfaz web del host del ESP32, se obtiene la medida apreciable en la figura 38, de 438 °C, donde puede notarse una pequeña diferencia, de apenas 0,75 °C, sin embargo, considerando que en línea general, los termopares tipo K, cuenta con una variación de $\pm 2\%$, se tendría un intervalo de $438 \pm 2\%$, es decir, que el valor más probable se encuentra entre 429,24 °C y 446,76 °C, que luego, inspeccionando la base de datos de ThingSpeak, puede notarse el registro de un valor de 437,24951 °C (ver figura 39). Por lo que el prototipo funciona correctamente, pudiendo concluirse que la medición de temperatura se realiza de manera correcta en el prototipo.



Figura 38: Medición de la interfaz web del prototipo de sensado.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

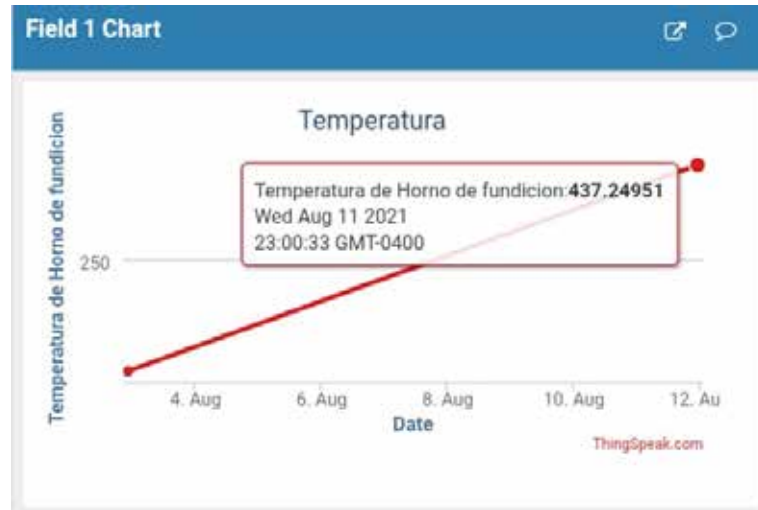

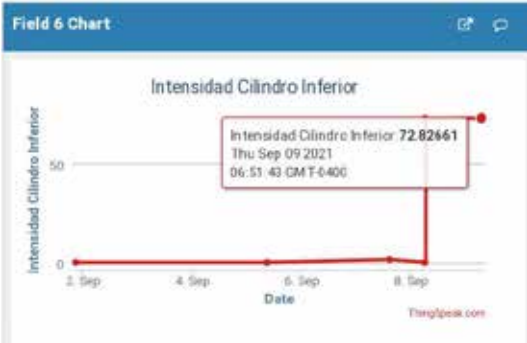


Figura 39: Grafica de la temperatura de horno de fundición de ThingSpeak.

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

Finalmente, para las pruebas de velocidad de rotación e intensidad de línea de los motores, se realizó gracias a una entrada de voltaje externa de 5 V DC, debido a la parada planificada que tenía lugar durante la ejecución del proyecto mencionada en las líneas de colada, sin embargo, a través de las simulaciones, se puede observar tanto en la interfaz de aplicación, como en la carga al servidor de ThingSpeak, que cada relación de voltaje correspondía al valor de la variable e intensidad de cada variable del cilindro y de la enrolladora, así como la medición de la temperatura ambiente con las dos termocuplas, se encuentran cargadas en el servidor en cuestión, tal como se aprecia en el cuadro 3.

Cuadro 3. Pruebas de las variables de interés de la línea IV de colada continua en el servidor de web y en ThingSpeak.

Variable	Resultado – Interfaz web.	Datos cargados a ThingSpeak
Velocidad de rotación (cilindro inferior)	<p style="text-align: center;">Cilindro Inferior</p> <p style="text-align: center;">SetPoint Velocidad: 1100 RPM +/- 1% [1089 RPM ; 1111 RPM]</p> <p style="text-align: center;">SetPoint Intensidad: 69,47 A RMS +/- 2% [68,08 A RMS ; 70,86 A RMS]</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Velocidad"/> <input type="button" value="Intensidad"/> </p> <p style="text-align: center;">Velocidad de cilindro inferior: 1016.83 RPM</p>	 <p>The chart displays the velocity of the lower cylinder over time. The y-axis is labeled 'Velocidad Cilindro Inferior' and ranges from 0 to 1000. The x-axis is labeled 'Date' and shows dates from 6 Sep to 9 Sep. A data point is highlighted with a red box, showing a value of 1016.82874 RPM on Thursday, September 9, 2021, at 14:40:59 GMT-0400.</p>
Intensidad de línea (cilindro inferior)	<p style="text-align: center;">Cilindro Inferior</p> <p style="text-align: center;">SetPoint Velocidad: 1100 RPM +/- 1% [1089 RPM ; 1111 RPM]</p> <p style="text-align: center;">SetPoint Intensidad: 69,47 A RMS +/- 2% [68,08 A RMS ; 70,86 A RMS]</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Velocidad"/> <input type="button" value="Intensidad"/> </p> <p style="text-align: center;">Intensidad de cilindro inferior: 72.83 A RMS</p>	 <p>The chart displays the intensity of the lower cylinder over time. The y-axis is labeled 'Intensidad Cilindro Inferior' and ranges from 0 to 50. The x-axis is labeled 'Date' and shows dates from 2 Sep to 8 Sep. A data point is highlighted with a red box, showing a value of 72.82661 A RMS on Thursday, September 9, 2021, at 06:51:43 GMT-0400.</p>

<p>Velocidad de rotación (cilindro superior)</p>	<p style="text-align: center;">Cilindro Superior</p> <p>SetPoint Velocidad: 1100 RPM +/- 1% [1089 RPM ; 1111 RPM]</p> <p>SetPoint Intensidad: 69,47 A RMS +/- 2% [68,08 A RMS ; 70,86 A RMS]</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Velocidad"/> <input type="button" value="Intensidad"/> </p> <p>Velocidad de cilindro superior: 1006.29 RPM</p>	
<p>Intensidad de línea (cilindro superior)</p>	<p style="text-align: center;">Cilindro Superior</p> <p>SetPoint Velocidad: 1100 RPM +/- 1% [1089 RPM ; 1111 RPM]</p> <p>SetPoint Intensidad: 69,47 A RMS +/- 2% [68,08 A RMS ; 70,86 A RMS]</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Velocidad"/> <input type="button" value="Intensidad"/> </p> <p>Intensidad de cilindro superior: 73.51 A RMS</p>	
<p>Velocidad de rotación (enrolladora)</p>	<p style="text-align: center;">Enrolladora</p> <p>SetPoint Velocidad: 1100 RPM +/- 1% [1089 RPM ; 1111 RPM]</p> <p>SetPoint Intensidad: 25 A RMS +/- 2% [24,5 A RMS ; 25,5 A RMS]</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Velocidad"/> <input type="button" value="Intensidad"/> </p> <p>Velocidad de enrolladora: 1153.93 RPM</p>	

<p>Intensidad de línea (enrolladora)</p>	<p style="text-align: center;">Enrolladora</p> <p>SetPoint Velocidad: 1100 RPM +/- 1% [1089 RPM ; 1111 RPM]</p> <p>SetPoint Intensidad: 25 A RMS +/- 2% [24,5 A RMS ; 25,5 A RMS]</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Velocidad"/> <input type="button" value="Intensidad"/> </p> <p>Intensidad de enrolladora: 26.43 A RMS</p>	<p>Field 2 Chart</p> <p>Intensidad Enrolladora</p> <p>Intensidad Enrolladora 26.42708 Thu Sep 09 2021 06:56:56 GMT-0400</p>
<p>Temperatura (horno de fundición)</p>	<p style="text-align: center;">Horno de Fundicion</p> <p>SetPoint Temperatura: 800 C +/- 4% [768 C ; 832 C]</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Temperatura"/></p> <p>Temperatura: 29.50 C</p>	<p>Field 1 Chart</p> <p>Temperatura</p> <p>Temperatura de Horno de fundicion 29.5 Thu Sep 09 2021 06:57:13 GMT-0400</p>
<p>Temperatura (horno de retención)</p>	<p style="text-align: center;">Horno de Retencion</p> <p>SetPoint Temperatura: 800 C +/- 4% [768 C ; 832 C]</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Temperatura"/></p> <p>Temperatura: 31.00 C</p>	<p>Field 8 Chart</p> <p>Fundición de aluminio</p> <p>Temperatura Horno de Manutencion 31 Thu Sep 09 2021 06:57:36 GMT-0400</p>

Fuente: Kamal A. y León E. (2021).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego de la estructuración de los resultados de la presente investigación, puede asegurarse que se ha cumplido la visión contemplada en los objetivos propuestos, ya que se logró implementar el prototipo electrónico de un sistema de monitoreo medición de temperatura de los hornos de fundición, y la velocidad de rotación e intensidad de línea de los motores de los cilindros de aplanamiento y el del enrollador en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa. Esto, basado en un sistema de IoT, que consta de una tecnología novedosa y accesible, que permite la indicación remota de las variables de interés, que a pesar de ser un dispositivo esencialmente sencillo, es capaz de lograr un gran impacto en la optimización del sistema de monitoreo de la línea de colada bajo estudio, sobre todo, teniendo en cuenta los distintos inconvenientes presentes en el mismo.

De cualquier manera, lo anterior pudo lograrse gracias a la estratificación por fases de las acciones a implementar, en función de los objetivos específicos planteados en estadios previos de la presente investigación, respecto a lo cual, se puede contemplar, para cada fase, lo siguiente:

Para la fase I, en la cual se apuntó a la realización de un diagnóstico asertivo de las condiciones actuales del sistema de medición e indicación de temperatura de los hornos de fundición y retención, así como de la velocidad de rotación y la intensidad de corriente de los dos motores de los cilindros, y el del enrollador de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa.

Para ello, el veredicto de dicho diagnóstico, se sustentó en varias técnicas de recolección de datos, como un exhaustivo proceso de revisión documental de los

manuales de los hornos de fundición y la máquina de colada continua 3C840, y distintas fuentes relacionadas al proceso de fundición de aluminio, que en alternancia complementaria con recorridos en planta para efectuar la observación directa de la línea IV de colada continua, así como entrevistas con el personal relacionado directa e indirectamente con la misma; que aunado a instrumentos de recolección de datos como el guion de entrevista (que permitió establecer un enfoque de manera estructurado) y el registro fotográfico que fue clave en el análisis posterior, garantizaron la estructuración de un diagnóstico objetivo.

En este, se determinó así la ineficiencia del sistema indicador anterior, tanto a nivel técnico como financiero, pues presentaba numerosas fallas y malfuncionamientos que incrementaban considerablemente la frecuencia de las paradas de la línea IV de colada continua, debido al grado de incertidumbre asociado, lo que naturalmente implica un incremento desalentador de las pérdidas de la compañía.

Concerniente a la fase II, esta se estructuró sobre la primera, pues con el conocimiento adquirido, se procedió a identificar los componentes y elementos necesarios para la implementación del prototipo a realizar, abarcando desde un estudio exhaustivo de la integridad y funcionamiento de los sensores presentes en la línea IV de colada continua, como una comparación con otros paradigmas tecnológicos de funcionamiento, para determinar, si el hecho de mantener el uso de los sensores ya implementados resultaba apropiado, o si era necesario efectuar cambios.

Así, se mantuvo las implementaciones de los dos termopares tipo K, los tres dínamos tacométricos, y los nueve transformadores de corriente, ya que aparte de encontrarse completamente operativos, su esquema de funcionamiento resulta idóneo para las mediciones a efectuar en la línea IV de colada continua de CVG Alucasa. Posteriormente, una vez dilucidado este apartado, se procedió a listar todos los componentes electrónicos necesarios para dar origen al ensamblaje del prototipo, así como la cantidad requerida, y los costos unitarios y totales.

La selección mencionada, se tomó de una forma cuidadosa y teniendo como objetivo a la eficiencia, pues sentó las bases de los estudios realizados en la fase III, donde se evaluó la factibilidad económica, técnica, y operativa del prototipo electrónico, para determinar si su implementación sería conveniente. Así, en cuanto a la factibilidad económica, se comprobó que el presente proyecto supone una alternativa factible y conveniente, tanto en comparación a la acción de no invertir, pues claramente se continuarían teniendo cuantiosas pérdidas dentro de la compañía, como con respecto a otros dispositivos de monitoreo remoto. Luego de dicho estudio, se procedió a evaluar la factibilidad técnica y operativa del presente prototipo, donde también se concluyó como una propuesta factible en conformidad con ambos paradigmas, recalcando su estatus de dispositivo sencillo en funcionamiento, mas potencialmente con un gran impacto positivo, gracias a su efectivo rendimiento.

Finalmente, el resultado de todas las indagaciones previas, pavimentaron el trayecto hacia el planteamiento e implementación del prototipo del sistema de sensado de la temperatura del horno de fundición y del de retención, así como de la velocidad de rotación y la intensidad de los motores de dos cilindros de solidificación y laminación, y del enrollador. Para lo cual, se realizó la implementación de un sistema basado en el Internet de las cosas, a través del módulo ESP32 WROOM 32U, permitiendo una interfaz web para la conexión vía tecnología Wi-Fi, para poder cargar y graficar los datos recolectados de los sensores en la base de datos ThingSpeak, no sin antes ingresar a la interfaz web del host del módulo ESP32, para conectarlo a la red Wi-Fi de interés.

Sin embargo, a pesar que la premisa del proyecto es realizar el monitoreo de forma remota, a través de cualquier dispositivo que cuente con conexión a Internet, también se diseñó una interfaz web del host del módulo ESP32 (la misma citada anteriormente), a través de la cual se pueden visualizar las mediciones localmente y/o cuando falle la conexión a Internet, conectándose al punto de acceso del módulo mencionado. Pero de cualquier manera, el sistema en general opera de forma rápida y sencilla, en conformidad con la precisión y resolución requerida para la operación

satisfactoria del sistema de monitoreo de las variables de interés de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa.

5.2 Recomendaciones

Finalmente, en consecuencia del proyecto efectuado, se procede a plantear las siguientes recomendaciones:

- Ante todo, se recomienda que el personal directivo de CVG Alucasa, esta vez de la mano de con el departamento de investigación y desarrollo, lleven a cabo, a la brevedad posible, un proceso de mejora continua del prototipo propuesto, optimizándolo a nivel de SoftWare y HardWare en los elementos que crean convenientes para adaptarlo a los intereses de la compañía, y/o aplicarlo en otros segmentos de la línea IV de colada continua, en otra de las tres líneas de dicho rubro, o en otra área o sección para continuar con el proceso de innovación de la planta, no sin antes efectuar el montaje en un circuito impreso.
- Que el personal directivo de CVG Alucasa, en conjunto con los cuerpos técnicos y de mantenimiento, se encarguen de incentivar con mayor frecuencia, auditorías y jornadas de mantenimiento preventivo, no solo de los sistemas de medición y monitoreo, sino de todos los equipos de las líneas de colada continua en la planta de CVG Alucasa en Guacara, con la finalidad de actualizar o reemplazar los equipos que lo requieran, y evitar la incidencia de problemas técnicos inesperados, y de aparecer, lo cual naturalmente es inevitable, reducir su impacto, y los tiempos de respuesta y solución.
- En relación al punto anterior, y con respecto al conjunto de sensores encargados de medir las variables de interés de la línea IV de colada continua, abordadas a lo largo de esta investigación, aunque los procesos de observación directa demostraron que los elementos primarios de medición de temperatura, intensidad de corriente, y velocidad de giro se encuentran en óptimas condiciones, cuando llegue el momento de su sustitución, se propone al departamento de mantenimiento, la evaluación de considerar la implementación

de encoders incrementales como sustitutos de los dínamos tacométricos, pues en línea general, ofrecen un excelente intervalo de operación, un rango de error altamente reducido, y una salida de 0 a 10 V DC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Advantech. (s.f.). [Página web en línea]. Disponible en: https://www.advantech.com/products/a0af34d2-a0dd-42d9-b323-82e65581bf8f/bb-wsd2c21150/mod_8e79a18c-56bd-4d15-8365-6aeca75ff5b8
- Altuzarra, C., y Pacheco, J. (2020). **Dispositivo Electrónico para el Monitoreo de la Variable Viscosidad en los Lubricantes de la Empresa Grupo RYV**. Proyecto del Trabajo de Grado no publicado, Universidad José Antonio Páez, San Diego.
- Alu Stock. (2021). [Página web en línea]. Disponible en: <https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/el-aluminio/>
- Analog Devices. (1999). [Página web en línea]. Disponible en: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD594_595.pdf
- Analog Devices. (2021). [Página web en línea]. Disponible en: <https://www.analog.com/en/applications/technology/precision-sensor-interface/temperature-sensing/rtd.html>
- Arias, F. (1999). **El Proyecto de Investigación Guía para su elaboración** (3ª ed.). Caracas: Editorial Episteme.
- Arias, F. (2012). **El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica** (6ª ed.). Caracas: Editorial Episteme.
- Avast. (2019). [Página web en línea]. Disponible en: <https://www.avast.com/es-es/c-what-is-the-internet-of-things>
- Balestrini, M. (2006). **Cómo se elabora el Proyecto de Investigación** (6ª ed.). Caracas: Editorial BL Consultores Asociados.
- Bernal, C. (2010). **Metodología de la investigación** (3ª ed.). Chía: Pearson.
- BIRT LH. (2021). [Página web en línea]. Disponible en: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DMMF/DMMF01/es_DFM_DMMF01_Contenidos/website_122_colada_enfriamiento_y_solidificacin.html
- Buendía, L, Colás, B. y Hernández F. (1998). **Métodos de investigación en psicopedagogía** [Libro en línea]. Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA. Consultado el 25 de febrero de 2021 en: https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/LEONOR-Metodos-de-investigacion-en-psicopedagogia-medilibros.com_.pdf
- Código Eléctrico Nacional. (8ª revisión). (2010). **FONDONORMA 200:2009 Código Eléctrico Nacional**, If 55520046582312, 2010.
- Creus Solé, A. (2010). **Instrumentación industrial** (8ª ed.). México: Alfaomega.

- Definición.de. (2008). [Página web en línea]. Disponible en: <https://definicion.de/sistema/#:~:text=Del%20latín%20systema%2C%20un%20sistema,objetos%20reales%20dotados%20de%20organización>
- Dirección de Electrónica UJAP. (2012). Antecedentes de investigación trabajo de grado I [Documento en línea]. Disponible en: direlectronica.ujap@gmail.com
- Economipedia (2020). [Página web en línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/proceso.html>
- ESP32-DevKitC V4 Getting Started Guide. (s.f.). [Página web en línea]. Disponible en: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html> (Consultado el 30 de julio de 2021).
- Guillermo, C. (2009). **La Fundición** [Artículo en línea]. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Consultado el 25 de febrero de 2021 en: https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Fundiciones.pdf
- HBM. (2021). [Página web en línea]. Disponible en: <https://www.hbm.com/es/7339/que-es-un-acondicionador-de-senal-funciones/>
- Hurtado, J. (2008). **Metodología Holística** (4^a ed.) [Libro en línea]. Caracas: Fundación Sypal. Consultado el 26 de febrero de 2021 en: <https://dariososafoula.files.wordpress.com/2017/01/hurtado-de-barrera-metodologicc81a-de-la-investigaciocc81n-guicc81a-para-la-comprensioecc81n-holicec81stica-de-la-ciencia.pdf>
- Infogram. (2020). [Página web en línea]. Disponible en: <https://infogram.com/tipos-de-colada-1gview2vd55ld2nj>
- López, D. y Daniel, A. (2008). **Implementación de línea de Colada Continua para la generación de cinta aleaciones de aluminio** [Tesis en línea]. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Consultada el 25 de febrero de 2021 en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2986/Tesis.pdf?sequence=1>
- Maker Spaces. (2017). [Página web en línea]. Disponible en: <https://www.makerspaces.com/wp-content/uploads/2017/02/Arduino-For-Beginners-REV2.pdf>
- Maldonado, J. (s.f.). *Fundamentos de gestión de proyectos* [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://docplayer.es/151758283-Fundamentos-de-gestion-de-proyectos-jose-angel-maldonado.html>
- Mayné, Jordi. (2003). **Sensores Acondicionadores y Procesadores de señal** [Libro en línea]. Madrid: SILICA. Consultado el 26 de febrero de 2021 en: http://arantxa.ii.uam.es/~gdrivera/robotica/h_datos/Sensores_Acond.pdf
- Palella, S., y Martins, F. (2012). **Metodología de la Investigación Cuantitativa** (3^a ed.). Caracas: FEDUPEL.
- Romero, W. (2018). **Fabricación de Cilindros de Aluminio y su Transformación en Perfiles Mediante el Proceso de Extrusión** [Tesis en línea]. Universidad

- Católica Andrés Bello, Puerto Ordaz. Consultada el 20 de febrero de 2021 en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAT6033.pdf>
- Tabla de Retenciones I.S.L.R. [Documento en línea]. (2021). MOORE Venezuela. Disponible en: <https://www.moore-venezuela.com/MediaLibsAndFiles/files/venezuelaweb.moorestephens.com2020/ac/ac6dc1c4-4547-4498-880d-570271ad1984.pdf>
- Tamayo, M. (2004). **El Proceso de la Investigación Científica** (4ª ed.). CDMX: Limusa.
- The Robotics Back – End. (s.f.). [Página web en línea]. Disponible en: <https://roboticsbackend.com/is-arduino-used-in-real-life-products/> (Consultado el 30 de julio de 2021).
- UPEL. (2016). **Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales**. (5ª ed.). Caracas: FEDUPEL.
- Wandurraga, M., y Nieto, J. (2016). **Diseño y Construcción de un Prototipo de Horno para la Realización del Proceso Stir Casting con Aleaciones de Aluminio** [Tesis en línea]. Universidad Libre de Colombia, Bogotá. Consultada el 19 de febrero de 2021 en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10392/DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%C3%93N%20DE%20UN%20PROTOTIPO%20DE%20HORNO%20PARA%20LA%20REALIZACI%C3%93N%20DEL%20PROCESO%20STIR%20CASTING%20CON%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

APÉNDICE A



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CUESTIONARIO DE APLICACIÓN A ENTREVISTA AL PERSONAL DE LA LA
LÍNEA IV DE COLADA CONTINUA DE CVG ALUCASA.

Objetivo: recopilar información acerca del funcionamiento del sistema de monitoreo de temperatura del horno de fundición, y velocidad de giro e intensidad de corriente de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

Instrucciones: lea atentamente a las preguntas y responda de forma breve y concisa.

Elaborada por: Eduardo León (27.687.674), Amer Kamal (25.765.064). El 20/06/2021.

Revisada por: Ing. Agustín Lárez. El 22/06/2021.

Nombre del entrevistado: Carlos Ríos.

Cargo del entrevistado: Técnico mecánico de la línea IV de colada continua de CVG Alucasa.

Experiencia en el cargo del entrevistado: 25 años.

Fecha: 15/07/2021.

Preguntas:

1. ¿Qué sistema de monitoreo se utiliza para las variables temperatura de colada, y velocidad de rotación e intensidad de línea de cilindros?
2. ¿Qué factores se deben considerar para el diseño de un sistema de monitoreo acorde al proceso?
3. ¿Qué ocurre si el sistema de medición falla o sufre de algún malfuncionamiento?
4. ¿Con que frecuencia suele fallar el sistema de monitoreo actual de las variables mencionadas?
5. ¿Qué tipo de falla presenta el sistema de monitoreo?
6. ¿Qué ocurre en el proceso si la temperatura del horno de colada aumenta desproporcionadamente?
7. ¿Qué ocurre en el proceso si la velocidad de rotación de los cilindros aumenta desproporcionadamente?
8. ¿Qué ocurre en el proceso si la velocidad de rotación de los cilindros disminuye desproporcionadamente?
9. ¿Qué ocurre en el proceso si la intensidad de línea de los cilindros aumenta desproporcionadamente?
10. ¿Qué ocurre en el proceso si la intensidad de línea de los cilindros disminuye desproporcionadamente?

Respuestas:

1. Se utilizan tres indicadores digitales de instalación local marca HONEYWELL, uno para la temperatura de cada horno, y uno para las variables del 3C840, los tres están en sitios diferentes.
2. Debe ser preciso y fácil de utilizar por el operario, ya que permite la manipulación fácilmente.
3. Se altera la calidad del producto y podría ocurrir daños en los componentes del proceso y refractario del horno
4. Prácticamente, una falla mayor al día.
5. Los sensores, convertidores, transmisores y controladores, funcionan bien, el problema está en los paneles de visualización, porque a veces se suele perder la medida, o falla el panel, algunas veces solo en partes de la pantalla, otras se apaga por completo.
6. El aluminio estaría fuera de control y podía sufrir daños la estructura del horno.
7. Se produce rotura de banda, y daños mecánicos en la caja de relación.
8. Se produce derrame de metal fundido.
9. La intensidad de cilindros se ve afectada por la carga mecánica de los motores, si aumenta, el proceso se detiene, para evitar que se siga incrementando, y proteger la máquina de sobrecargas y/o, atascamientos.
10. Si la intensidad disminuye ocasionaría derrame de metal líquido, pues si baja demasiado, implicaría que los cilindros se están deteniendo.

APÉNDICE B



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CUESTIONARIO DE APLICACIÓN A ENTREVISTA AL PERSONAL DE LA LA
LÍNEA IV DE COLADA CONTINUA DE CVG ALUCASA.

Objetivo: recopilar información acerca del funcionamiento del sistema de monitoreo de temperatura del horno de fundición, y velocidad de giro e intensidad de corriente de los cilindros en la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

Instrucciones: lea atentamente a las preguntas y responda de forma breve y concisa.

Elaborada por: Eduardo León (27.687.674). Amer Kamal (25.765.064). El 20/06/2021.

Revisada por: Ing. Agustín Lárez. El 22/06/2021.

Nombre del entrevistado: Julio Cedeño.

Cargo del entrevistado: Supervisor de mantenimiento de CVG Alucasa.

Experiencia en el cargo del entrevistado: 20 años.

Fecha: 15/07/2021.

Preguntas:

1. ¿Qué sistema de monitoreo se utiliza para las variables temperatura de colada, y velocidad de rotación e intensidad de línea de cilindros?
2. ¿Qué factores se deben considerar para el diseño de un sistema de monitoreo acorde al proceso?
3. ¿Qué ocurre si el sistema de medición falla o sufre de algún malfuncionamiento?
4. ¿Con que frecuencia suele fallar el sistema de monitoreo actual de las variables mencionadas?
5. ¿Qué tipo de falla presenta el sistema de monitoreo?
6. ¿Qué ocurre en el proceso si la temperatura del horno de colada aumenta desproporcionadamente?
7. ¿Qué ocurre en el proceso si la velocidad de rotación de los cilindros aumenta desproporcionadamente?
8. ¿Qué ocurre en el proceso si la velocidad de rotación de los cilindros disminuye desproporcionadamente?
9. ¿Qué ocurre en el proceso si la intensidad de línea de los cilindros aumenta desproporcionadamente?
10. ¿Qué ocurre en el proceso si la intensidad de línea de los cilindros disminuye desproporcionadamente?

Respuestas

1. Actualmente, se tienen tres indicadores digitales HONEYWELL, instalados localmente, uno en cada uno de los hornos de fundición y otro para el seguimiento de las variables del 3C840.
2. Debe ser preciso y fácil de utilizar por el operador.
3. Se altearan las calidad del producto y podría ocurrir daños en los componentes del proceso.
4. Lo común es que haya una falla diaria.
5. En los indicadores o visualizadores, suelen apagarse sin razón cada cierto tiempo, por lo que los operarios no saben cómo se están desempeñando los procesos, y si dura mucho, puede ser necesario hasta parar la línea.
6. Sería difícil controlar el aluminio fundido y podía sufrir daños la estructura del horno.
7. Puede romperse la banda.
8. Se produce derrame de metal fundido.
9. La intensidad de cilindros se ve afectada por la carga mecánica de los motores, pero si aumenta mucho, el proceso se detiene para evaluar si es una sobrecarga o atascamiento.
10. Que la intensidad disminuya mucho, además del derrame de metal líquido, es uno de los indicadores de la presencia de pérdida de carga, causada por algún problema de acoplamiento mecánico entre la carga y el eje de los motores.

APÉNDICE C



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**CUESTIONARIO DE APLICACIÓN A ENTREVISTA AL PERSONAL DE LA LA
LÍNEA IV DE COLADA CONTINUA DE CVG ALUCASA.**

Objetivo: recopilar información respectiva a la producción durante el período enero-mayo del año 2021 la línea IV de colada continua en CVG Alucasa.

Instrucciones: lea atentamente a las preguntas y responda de forma breve y concisa.

Elaborada por: Eduardo León (27.687.674), Amer Kamal (25.765.064). El 20/06/2021.

Revisada por: Ing. Agustín Lárez. El 22/06/2021.

Nombre del entrevistado: Víctor Lara.

Cargo del entrevistado: Gerente de producción de CVG Alucasa.

Experiencia en el cargo del entrevistado: 10 años.

Fecha: 15/07/2021.

Preguntas:

1. ¿Cuántas bobinas de aluminio se suelen producir por turno en una línea de colada continua completamente funcional?
2. ¿Cuánto pesa cada una de éstas bobinas?
3. Actualmente, ¿cuál es el precio de venta del aluminio en el mercado?
4. ¿Qué ingresos brutos suelen tener diariamente producto de una línea de colada continua completamente funcional?
5. ¿Cuál es el grueso de los costos operacionales de una línea colada continua funcional?
6. ¿Cuánto tiempo toma el re arranque de una línea de colada continua luego de presentarse una parada?
7. ¿Qué costos suele suponer una parada en una línea de colada continua?

8. En línea general, a nivel de todas las líneas de colada continua ¿Cuánto tiempo de parada suelen tener en promedio?

Respuestas:

1. Normalmente se tienen 2 bobinas listas al final de cada turno.
2. 2 toneladas.
3. Actualmente ronda los 2600 \$ por tonelada.
4. Suponiendo que la línea funcione adecuadamente, al ritmo y valores que les comenté, las ganancias oscilan los 31200 \$ al día.
5. Aproximadamente de 100000\$ al mes.
6. Aun suponiendo que la falla se resuelva y no sea recincente, se necesitan unas 12 horas para reactivar el proceso.
7. Además del tiempo que la línea dura inoperativa, y los costos de los repuestos particulares que dependen de la falla, en una línea como esta, una parada supone un gasto adicional de 4000 \$, porque e deben reemplazar los inyectores de la 3C840.
8. Quitando las paradas de la línea IV, las paradas en la planta son relativamente pocas en frecuencia, pero grandes en duración, por lo que en promedio, es equivalente a tener 4 horas de parada por día.

