



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Creación de un tablero de control de indicadores para la mejora
continua de procesos de una empresa de fabricación de acero.”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESO

Presentada por:

ESTHER ABIGAIL OCHOA REINOSO

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

AGRADECIMIENTO

A Dios, mi familia, mis tutores y a cada una de las personas que colaboraron de una u otra forma con su conocimiento para realizar este trabajo.

DEDICATORIA

Este trabajo realizado con esfuerzo por varios meses, se lo dedico a mis padres por haberme forjado como la persona que soy actualmente, proporcionarme la oportunidad de culminar con mis estudios y seguir mi vocación para demostrar que con esfuerzo y disciplina todo es posible.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN



Firmado electrónicamente por:
WEHLI
ENRIQUE PEREZ
CAICER

Wehrli Pérez C., MSc.
DIRECTOR DE PROYECTO

Denise Rodríguez Z., MSc.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Esther Abigail Ochoa Reinoso

RESUMEN

El presente proyecto desarrollado en una empresa de fabricación de acero consistió en la creación de un tablero de control, en donde se presenten las métricas e indicadores clave de rendimiento de manera clara y estructurada para así facilitar el procesamiento de la información y agilizar la aplicación de herramientas de mejora continua y toma de decisiones. El tablero de control fue desarrollado a partir del análisis de los datos históricos, haciendo uso de las herramientas digitales disponibles y considerando el grado de conocimiento de los diferentes niveles jerárquicos.

En su construcción se siguió la metodología proporcionada por Kerzner (2013), donde se consideran todas las etapas para proporcionar valor, procesar y visualizar los datos. Así también se consideran los aspectos de diagnóstico organizacional proporcionados por Vidal Arizabaleta (2004) y los conceptos de la pérdidas y costes asociados a las demoras del procesamiento de la información brindados por Arbonés (2006).

Durante el desarrollo de este proyecto se muestran todos los pasos para la construcción de un tablero de control; iniciando con el ordenamiento y estructuración de la información, seguido por la clasificación de métricas e indicadores clave de rendimiento, definición de objetivos a través de métodos de mejora continua, selección de herramientas de análisis estadístico y culminando en la creación de la pantalla de visualización de la información.

En el proceso de implementación se utilizaron las tablas y gráficas proporcionadas por el tablero de control, acompañados de herramientas como diagramas de causa y efectos y cinco porqués, con los cuales se generaron grupos de trabajo y desarrollo de planes correctivos.

A través de la aplicación de esta metodología sobre la métrica de temperatura de vaciado e indicador clave de rendimiento de consumo de carbón de inyección, se logró obtener una reducción en el costo por tonelada.

Palabras Clave: Tablero de control, métrica, indicador clave de rendimiento.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivo General.....	3
1.3 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. METODOLOGÍA.....	4
2.1 Estructuración de la Información.....	4
2.1.1 Análisis de la información Disponible.....	4
2.1.2 Diseño de Plataforma para Recolección de Información.....	5
2.2 Identificación de Métricas y Selección de Método de Análisis.....	7
2.2.1 Identificación de Métricas.....	7
2.2.2 Método de Análisis de Métricas.....	8
2.3 Identificación de Indicadores Clave de Rendimiento y Selección de Método de Análisis.....	10
2.3.1 Identificación de Indicadores Clave de Rendimiento.....	10
2.3.2 Método de Análisis de Indicadores Clave de Rendimiento.....	10
2.4 Modelado de la Información y Diseño de Estructura de Tablero de Control.....	11
2.4.1 Administración de relaciones.....	12
2.4.2 Creación de medidas.....	12
2.5 Creación de Tablero de Control.....	13
2.5.1 Consideraciones.....	13
2.5.2 Diseño.....	13
2.6 Implementación.....	15
CAPÍTULO 3.....	16
3. RESULTADOS.....	16

3.1	Resultados sobre Sistema de Adquisición de la Información	16
3.2	Resultados sobre Métrica de Temperatura de Vaciado	16
3.2.1	Seguimiento y Control para Temperatura de Vaciado	16
3.3	Resultados sobre Indicador Clave de Rendimiento de Consumo de Carbón	
	19	
3.3.1	Seguimiento y Control de Consumo de Carbón	19
CAPÍTULO 4	22
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	22
4.1	Conclusiones.....	22
4.2	Recomendaciones.....	23
BIBLIOGRAFÍA	24

ABREVIATURAS

ICR	Indicador Clave de Rendimiento (KPI, por sus siglas en inglés).
VBA	Visual Basic para Aplicaciones.
IHM	Interfaz Humano Máquina (HMI, por sus siglas en inglés).
.	

SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
h	Horas
Kg	kilogramos
kW	Kilowatt
m	Metros
min	Minutos
Nm ³	Normales Metros cúbicos
t	Toneladas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Macroprocesos de la Fundidora de Acero.....	1
Figura 1.2 Niveles Jerárquicos Fundidora.....	2
Figura 1.3 Fluctuaciones de costos por tonelada 2021.....	3
Figura 2.1 Tabla Inicial de Datos de Variables de Proceso.....	5
Figura 2.2 Tabla de Datos Inicial de Tiempos de Parada.....	5
Figura 2.3 Despliegue de Acceso a Formulario.....	5
Figura 2.4 Despliegue de Formulario de Registro de Datos Horno Eléctrico.....	6
Figura 2.5 Numeración de Motivo de Parada.....	6
Figura 2.6 Despliegue de Formulario de Tiempos de Parada.....	6
Figura 2.7 Métricas de Macroprocesos.....	7
Figura 2.8 Flujo de la Información.....	7
Figura 2.9 Tipos de Gráficas de Control.....	8
Figura 2.10 Análisis de Datos Temperatura de Vaciado.....	9
Figura 2.11 Gráfica I-MR de Variable de Temperatura de Vaciado de Horno Eléctrico.....	9
Figura 2.12 Serie de Tiempos de Merzas (Kg/t).....	11
Figura 2.13 Relaciones entre Bases de Datos de Macroprocesos.....	12
Figura 2.14 Medida de Rendimiento de Manganeso, Lenguaje DAX.....	13
Figura 2.15 Tipos de Visualizaciones PBI.....	13
Figura 2.16 Sección de Campos y Formatos PBI.....	14
Figura 2.17 Gráfico de Barras de Tiempos de Parada (min/colada).....	14
Figura 2.18 Tipos de Herramientas Visuales.....	14
Figura 2.19 Tablero de Control.....	15
Figura 2.20 Difusión de Funcionalidad de Tablero de Control.....	15
Figura 3.1 Identificación de Reglas de Shewart en Temperatura de Vaciado.....	17
Figura 3.2 Análisis de Ishikawa de Causas de Variación en Temperatura de Vaciado.....	18
Figura 3.3 a) Gráfica de Valores Individuales Antes de Acciones Correctivas - b) Gráfica de Valores Individuales Después de Acciones Correctivas.....	19
Figura 3.4 Seguimiento de Consumo de Carbón.....	20
Figura 3.5 Análisis de 5 Porqués para Consumo de Carbón.....	20
Figura 3.6 Resultados de Consumo de Carbón.....	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos Registrados en Procesos	2
Tabla 2 Unidades de Interés para Seguimiento.	7
Tabla 3 Indicadores Clave de Rendimiento	10
Tabla 4 Cardinalidad y Tipo de Filtro PBI	12
Tabla 5 Datos Registrados en Procesos	16
Tabla 6 Acciones Correctivas en Causas asignadas sobre Temperatura de Vaciado	18

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES

“Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre.”, es la frase dicha por el físico matemático William Thomson Kelvin y que se considera como un principio inmortal de la gestión según Paul Riches (2015), sirviendo de guía para entender que dentro de la industria no sólo es complicado sino imposible tomar decisiones correctas sin la información relevante actualizada y organizada a la mano.

En nuestro contexto, dentro de la cadena de fabricación de acero se encuentra uno de los eslabones de mayor influencia en calidad y costos; la fundidora, que consta de 5 macroprocesos Figura 1.1, que tienen como producto final una palanquilla de sección cuadrada.

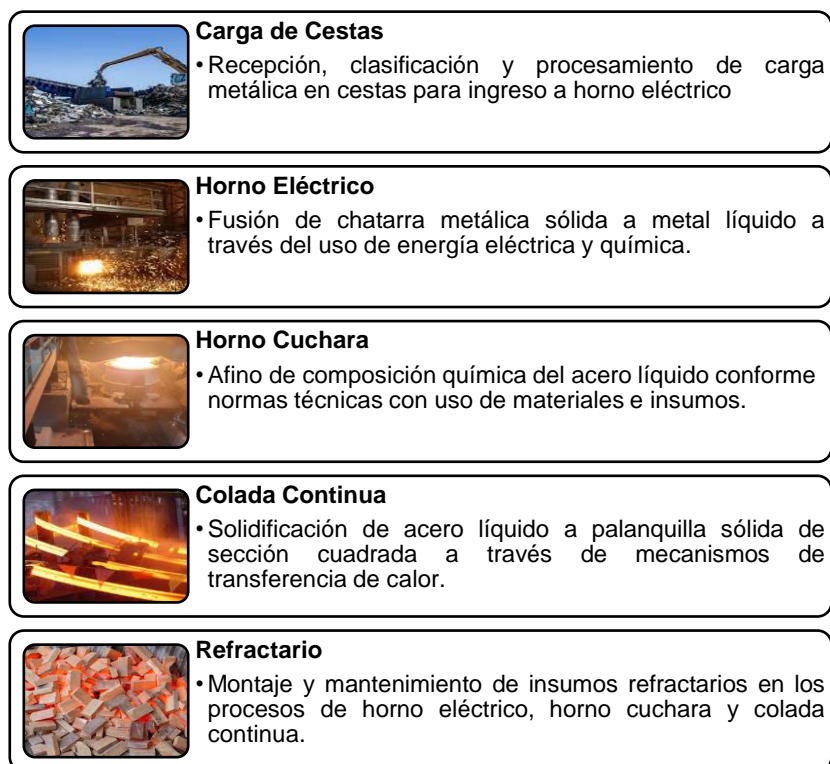


Figura 1.1 Macroprocesos de la Fundidora de Acero

Fuente: Autor

Los resultados económicos de la fundidora se sintetizan en el costo por tonelada (1) y se transmiten a la dirección por correo electrónico al final de cada mes a través de una tabla con un desglose de 19 ítems básicos, los cuales no poseen características que permitan identificar desviaciones.

$$\text{Costo por tonelada } \left(\frac{\$}{t}\right) = \frac{\text{Costo total de producción}}{1 \text{ tonelada de acero sólido}} \quad (1)$$

Esta estructura de difusión actualmente usada no transmite la información de manera correcta, bloquea completamente la interactividad de los usuarios de todos los niveles jerárquicos Figura 1.2 en el proceso productivo y elimina completamente la posibilidad de aplicación de acciones correctivas y toma de decisiones de manera efectiva y medible.

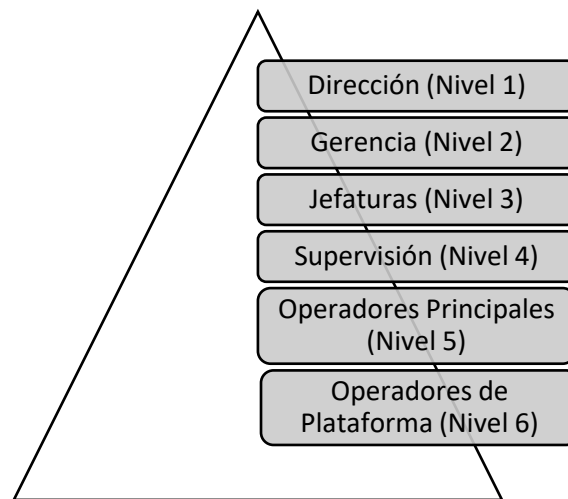


Figura 1.2 Niveles Jerárquicos Fundidora

Fuente: Autor

En los macroprocesos de la fundidora se registran 563 datos en diferentes unidades de medida cada 50 minutos, de los cuales se detecta una influencia sobre el costo por tonelada Tabla 1. Hoy en día este conjunto de datos no son procesados para agregar valor o generar reportes que muestren su evolución a través del tiempo.

Tabla 1 Datos Registrados en Procesos

Ítem	Área	Cantidad de Datos	% de influencia sobre costo por tonelada
1	Carga de Cestas	37	71%
2	Horno Eléctrico	137	11%
3	Horno Cuchara	145	2%
4	Colada Continua	122	9%
5	Refractarios	122	2%

Fuente: Autor

De acuerdo con S Galli (2016), en una empresa se genera una gran cantidad de datos y en la medida que éstos no se clasifiquen ni se ordenen de una manera sistemática y metodológica, se estará ante un caos de información que lejos de ayudar en la gestión, la complicará cada vez más.

Al realizar un análisis de influencias se pueden generar varias relaciones del costo por tonelada con los datos registrados en los macroprocesos, de los cuales actualmente no se tiene un seguimiento de su comportamiento histórico o definición de sus objetivos.

1.1 Planteamiento del Problema

Incremento del 7% de los costos por tonelada de la fundidora del periodo 2020 al 2021 Figura 1.3. Se evidencian fluctuaciones no estudiadas en los meses de enero a abril del año 2021 debido a la falta de una herramienta que permita visualizar, comparar y analizar el comportamiento de los datos registrados en los macroprocesos productivos. Generando riesgos de pérdidas económica por reducción de ventas y producción debido a costos no competitivos.

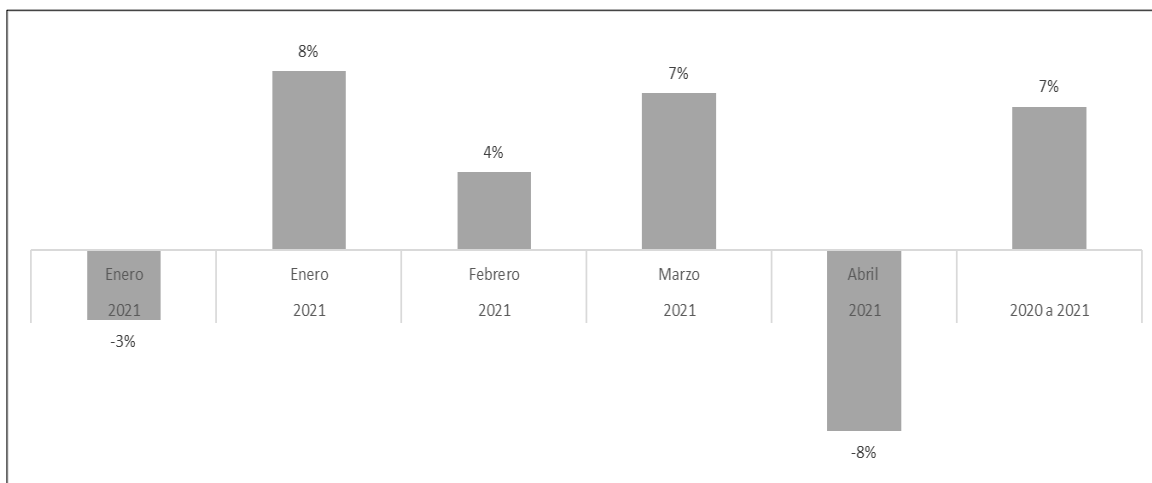


Figura 1.3 Fluctuaciones de costos por tonelada 2021

Fuente: Autor

1.2 Objetivo General

Diseñar e implementar un tablero de control basado en el correcto procesamiento de los datos obtenidos del proceso, alineado a la estrategia de negocio de la fundidora de una fábrica de acero, que dé soporte a la toma de decisiones estratégicas y permita la aplicación de herramientas de mejora continua en todos los niveles jerárquicos.

1.3 Objetivos Específicos

- Convertir los datos registrados del proceso de fundición en información útil.
- Segmentar las métricas e indicadores de desempeño para brindar una herramienta visual al personal involucrado que permita monitorear los procesos.
- Diseñar un tablero de control de forma estructurada de acuerdo con los niveles de información requeridos y acompañado de gráficas de control que permitan evaluar la evolución de los resultados a través del tiempo.
- Difundir el tablero de control con el personal de los diferentes niveles y orientar en el uso de la herramienta enfocada a la reducción de la variabilidad.
- Implementar la herramienta en los puestos de trabajo.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Las tecnologías de la información han ido transformando la forma de actuar de las empresas y el manejo de su cadena de valor, así como también los conceptos de los productos y sus costes asociados. En Arbonías (2006), se pueden encontrar en retrospectiva varios ejemplos de cómo en ausencia de reacciones anticipativas ante cambios, muchas empresas han actuado reactivamente con las desventajas que eso supone.

La construcción del tablero de control como una herramienta tecnológica de diagnóstico debe estar enfocado a la gestión de sus métricas e indicadores clave de rendimiento y tiene como finalidad conocer qué tan bien la organización o un individuo realiza una actividad estratégica que es crítica para el éxito actual y futuro de la organización. Para una elaboración y difusión exitosa, se deben considerar varios factores como los niveles jerárquicos, el mensaje a transmitir, el nivel de conocimiento del usuario sobre la materia y las unidades de medida correctas que agreguen valor y simplifican su entendimiento (Vidal Arizabaleta, 2004).

En el trabajo realizado por Luigi M. Galasso (2016) se puede apreciar la aplicación de la tecnología digital para el desarrollo de un asistente de operaciones enfocado al manejo de los datos en la industria del acero.

Integrando las consideraciones ya mencionadas, la metodología indicada por Kerzner (2013) y utilizando los datos de la fundidora; se detallan las etapas para la elaboración del tablero de control orientado a los diferentes niveles de mandos con un enfoque estratégico que ayude a transformar los datos en conocimiento, expresándolos en forma gráfica y dinamizando su presentación y comprensión, como sigue:

2.1 Estructuración de la Información

2.1.1 Análisis de la información Disponible

Durante el análisis de la información de las variables del proceso Figura 2.1, se encontraron inconvenientes para realizar su ordenamiento debido a:

- Ausencia de datos.
- Datos aberrantes.
- Datos duplicados.
- Unidades incorrectas.

Item	Operador	Turno	Fecha	Colado Programado	N°Cestas	Carbón Vaciado (c%)	PPM	F1	F2	F3
3	EH	B	14/1/2020	23:53:00		0,11		E		
8	JA	A	16/1/2020	4:29:00		0,03		*		*
8	EH	B	27/1/2020			0,03		A	A	A
5	EH	B	30/1/2020					A	A	A
12	EH	B	5/2/2020			0,00		A		
19	EH	B	5/2/2020			0,00		E	A	
8	EH	B	7/2/2020			0,00		E		
9	EH	B	10/2/2020			0,00		E		
3	EH	B	11/2/2020					E		A
10	EH	B	11/2/2020					A		
14	EH	B	18/2/2020			0,03		E		
15	EH	B	18/2/2020	2:56:00		0,04		E		
14	EH	B	20/2/2020			0,03		E		E
15	EH	B	20/2/2020			0,03		E		
2	JA	A	1/6/2020	2:49:00		0,04	600,00	A		A
14	JC	B	2/6/2020	2:54:00		0,03	1000,00	A		
18	JC	B	3/6/2020	6:47:00		0,03	800,00	A	1	

Figura 2.1 Tabla Inicial de Datos de Variables de Proceso
Fuente: Autor

De la misma forma se ubicaron columnas con información repetida y falta de estructura para el ingreso de la información de tiempos de parada de proceso Figura 2.2.

Item	COLADA	FECHA	Operador	Turno	Parada por:	Daño o Falla	Tiempo	Observaciones	Fecha/Hora Sistema	Tipo	Equipo	Subarea
2827	110299	1/20/2021	Operador	B	Producción	LIMPIEZA DE FILO DE BOVEDA	0:01:00	LIMPIEZA	18:16:03	Demora	EAF	
2829	110304	1/21/2021	Operador	C	Producción	LIMPIEZA DE EBT	0:03:00	Limpieza del canal EBT	22:26:21	Demora	EAF	
2831	110308	1/21/2021	Operador	C	Producción	Empalme Fase 1	0:06:00	Empalme Fase 1	1:54:16	Demora	EAF	
2832	110312	1/21/2021	Operador	C	Producción	Pérdida de línea	0:15:00	Cierre de líneas en CCM	6:13:32	Demora	CCM	
2833	110313	1/21/2021	Operador	B	Mantenimiento	Manecillas	2:35:00	Se pierde secuencia por no accionamiento de manecillas	8:49:55	Falla o Daño	CCM	CCM
2834	110315	1/21/2021	Operador	B	Producción	LIMPIEZA PUERTA DE ESCOREO	0:08:00	Reparación de puerta de escoreo	11:35:43	Demora	EAF	
2835	110316	1/21/2021	Operador	B	Procesos	CONTENIDO DE C, P DEMASIADO	0:06:00	48pts de C	11:36:51	Demora	EAF	
2837	110322	1/21/2021	JOHNNY CASTRO	B	Producción	No abre libre cuchara	1:00:00	Prueba tubo largo	7:51:28	Demora	CUCHARAS	
2838	110323	1/21/2021	JOHNNY CASTRO	B	Mantenimiento	SISTEMA DE EXTRACCIÓN EN AVEI	1:07:00	Ventiladores en fallo	18:50:49	Falla o Daño	SERVICIOS GENERALES	SERVICIOS GENERALES
2843	110325	1/22/2021	JAVIER ABAD	C	Producción	No Apertura Libre Del EBT	0:07:00	No apertura libre del canal EBT	21:31:14	Demora	EAF	
2844	110326	1/22/2021	JAVIER ABAD	C	Producción	No Apertura Libre Del EBT	0:07:00	No apertura libre del canal EBT	21:41:44	Demora	EAF	
2845	110327	1/22/2021	JAVIER ABAD	C	Mantenimiento	Relé	5:26:00	Caída de energía en toda la acería	4:15:12	Falla o Daño	EAF	Eléctrico
2846	110328	1/22/2021	JAVIER ABAD	C	Producción	Cambio De Tundish	0:16:00	Apertura de líneas en CCM	4:52:10	Demora	CCM	

Figura 2.2 Tabla de Datos Inicial de Tiempos de Parada
Fuente: Autor

2.1.2 Diseño de Plataforma para Recolección de Información

Con el objetivo de generar una base de datos procesable en tiempo real y para facilitar las tareas de recolección de datos se elaboró un formulario a través de la herramienta de Microsoft Office Excel, que permite trabajar con códigos de macros VBA y que posibilitan ejecutar una serie de instrucciones de manera simultánea.

Este sistema se encuentra específicamente configurado con bloques de características y atributos de los datos, con el objetivo de realizar un correcto ingreso de información y registro automático en bases de registro. Para realizar la ejecución de código, se requiere poseer autorización con usuario y contraseña Figura 2.3.

INGRESO

Usuario:

Clave:

Figura 2.3 Despliegue de Acceso a Formulario
Fuente: Autor

Como ejemplo, se muestra el formulario de ingreso de datos del macroproceso de horno eléctrico Figura 2.4. A través del cual se alimenta la base de datos "BD_HEA".

REGISTRO PROCESO

Operador: Turno: Fecha: Considerar horario Inicio: 19:00 pm - Fin: 7:00 am Colada:

Orden de Fabricación: Visualizador de Ordenes Disponibles

Orden de Fabricación	Código	Texto breve de material	Centro	Almacén	SAE	Sección	Longitud
700000306	21130	PALANQUILLA SAE 1026 130x130x12000	MIL	F006	1026	130	12000
700000307	21275	PALANQUILLA SAE 1008 150x150x12000	MIL	F006	1008	150	12000
700000308	21114	PALANQUILLA SAE 10098 150x150x12000	MIL	F006	10098	150	12000
700000309	21113	PALANQUILLA SAE 10048 150x150x12000	MIL	F006	10048	150	12000
700000310	21132	PALANQUILLA SAE 1022 150x150x12000	MIL	F006	1022	150	12000
700000311	21117	PALANQUILLA SAE 1026 V 150x150x12000	MIL	F006	1026V	150	12000
700000312	21130	PALANQUILLA SAE 1026 150x150x12000	MIL	F006	1026	150	12000
700000313	20197	PALANQUILLA SAE 1026 130x130x12000	MIL	F006	1026	130	12000

Ingresar Datos con separador de coma, ejemplo: 1,1
Todos los campos deben estar llenos, si no tiene consumo poner valor 0

N Colada del Día: GLP: Nm3 Colado Programado:

N Colada del Turno: O Quemador: Nm3 Colado Real: hh:mm:ss

T Vaciado: °C O Lanza: Nm3

PPM Vaciado: Termocuplas: un

Carbón Vaciado (C%): Celox: un

Power On: min Muestras Inmersión: un

Power Off: min EMPALME F1: un

Energía Kw/h: EMPALME F2: un

Iny. C Antracita (0-3 mm) kg: Kg EMPALME F3: un

PROVEEDOR: un

Figura 2.4 Despliegue de Formulario de Registro de Datos Horno Eléctrico
Fuente: Autor

De la misma forma se creó un sistema estructurado para la base de registro de demoras con generación de códigos dependiendo del equipo (N1), área responsable (N2), subárea responsable (N3) Figura 2.5 y número de motivo de parada.

Equipo	N1	Área Responsable	N2	Subárea Responsable	N3
Carga Cestas	1	Producción	1	Mecánico	1
CCM	2	Mantenimiento	2	Eléctrico/Electrónico	2
Cucharas	3	Refractario	3	Electrónico	3
EAF	4	Procesos	4	Operación	4
Grúa	5	Externo	5	Servicios Generales	5
Laboratorio	6	Planificado	6	Externo	6
LF	7	Calidad	7	Planificado	7
Metálicos	8			Mantenimiento	8
Servicios Generales	9				
Externo	10				
VD	11				
Definir	12				

Figura 2.5 Numeración de Motivo de Parada
Fuente: Autor

El código se genera concatenando el número de motivo de parada, N1, N2 y N3, en este orden Figura 2.6.

REGISTRO DE DEMORAS

Colada: Fecha: Operador: Tiempo de Demora: Tiempo a Registrar:

Código: Motivo de Parada: Equipo: Área Responsable: SubÁrea Responsable: Tiempo:

Código	Motivo de Parada	Equipo	Área Responsable	SubÁrea Responsable	Observaciones
1221	Carro Porta Cesta	Carga Cestas	Mantenimiento	Eléctrico/Electrónico	
1212	Carro Porta Cesta	Carga Cestas	Mantenimiento	Mecánico	

Figura 2.6 Despliegue de Formulario de Tiempos de Parada
Fuente: Autor

2.2 Identificación de Métricas y Selección de Método de Análisis.

2.2.1 Identificación de Métricas

Con el análisis de los datos almacenados de forma ordenada se puede extraer las métricas que son de influencia para los resultados de cada macroproceso y que requieren ser monitoreadas en tiempo real dentro de la operación Figura 2.7.

Carga de Cestas	Horno Eléctrico	Horno Cuchara	Colada Continua	Refractario
<ul style="list-style-type: none"> • Carga Chatarra (t) • Carbón 1 (Kg) • Escorificantes (kg) 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía (KWh) • Tiempos HEA (min) • Carbón 2 (kg) • Gas 1 (Nm3) • T Vaciado (°C) • Medidores (Un) 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía (KWh) • Tiempos HC (min) • Temperaturas (°C) • Adiciones (Kg) • Carbón 3 (Kg) • Desoxidantes (Kg) • Escorificantes (Kg) • Gas 2 (Nm3) • Medidores (Un) 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades (m/min) • Sobre calentamiento (°C) • Tiempo de Colado (min) 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de Ladrillo (Kg) • Consumo de Masa (Kg) • Tiempo de Vida de Equipos (Un)

Figura 2.7 Métricas de Macroprocesos
Fuente: Autor

Cada uno de estos datos debe ser analizado en las unidades de interés para los usuarios Tabla 2, como sigue:

Tabla 2 Unidades de Interés para Seguimiento.

Unidad Base	Unidades de Seguimiento
KWh	KWh/t
Kg	Kg/t
Un	Un
°C	°C
t	t/Colada
min	min/Colada
m/min	m/min

Fuente: Autor

Al examinar el flujo de información dentro del proceso productivo se pudo encontrar que varios datos de los procesos aguas arriba deben ser captados y transformados en procesos aguas abajo con el fin de generar la información de interés para seguimiento, así mismo se encuentra información que debe ser compartida entre procesos Figura 2.8.

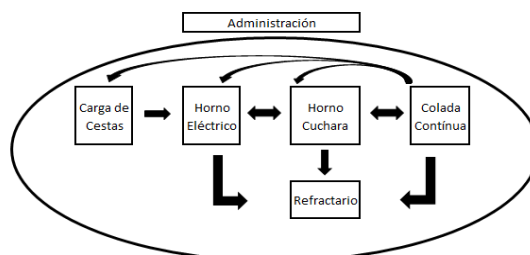


Figura 2.8 Flujo de la Información
Fuente: Autor

2.2.2 Método de Análisis de Métricas

Para la identificación del comportamiento histórico de las variables de estudio, se realiza el análisis de estas a través de las gráficas de control de Shewhart para valores individuales I-MR Figura 2.9, que sirve para monitorear la estabilidad del proceso en tiempo real. Para poder realizar este análisis se debe cumplir con lo mencionado en (Montgomery, 2013).

- $N > 100$, donde N es números de datos.
- Datos deben ser razonablemente normales
- Los datos no deben estar correlacionados

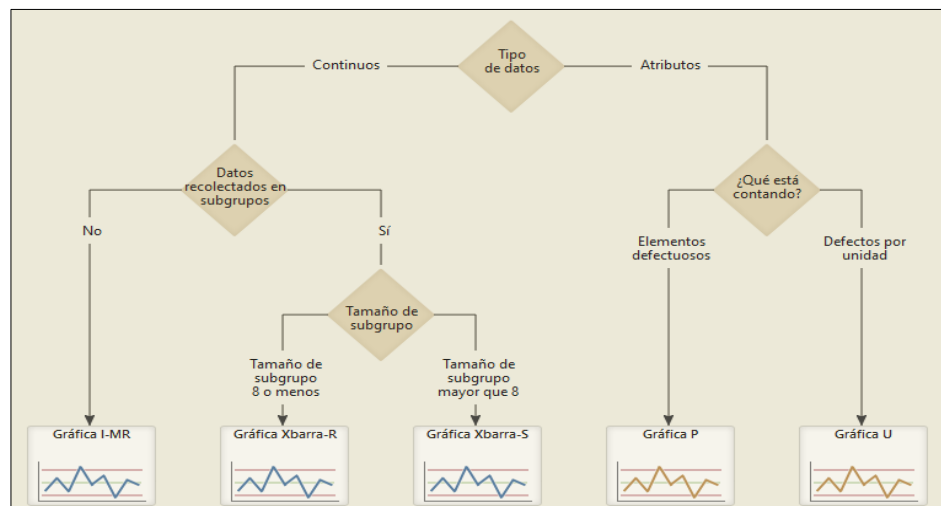


Figura 2.9 Tipos de Gráficas de Control
Fuente: Minitab

Una vez obtenida la gráfica I-MR se deben considerar para su evaluación algunas reglas de sensibilización para los gráficos de control de Shewhart:

1. Uno o más puntos fuera de los límites de control.
2. Dos de tres puntos consecutivos fuera de los límites de advertencia de dos sigmas, pero aún dentro de los límites de control.
3. Cuatro de cinco puntos consecutivos fuera de los límites de una sigma.
4. Una serie de ocho puntos consecutivos en un lado de la línea central.
5. Seis puntos seguidos que aumentan o disminuyen de forma constante.
6. Quince puntos seguidos en la zona de 1 sigma (tanto por encima como por debajo de la línea central).
7. Catorce puntos seguidos alternando arriba y abajo.
8. Ocho puntos seguidos a ambos lados de la línea central, sin ninguno en la zona de 1 sigma.
9. Un patrón inusual o no aleatorio en los datos.
10. Uno o más puntos cerca de un límite de advertencia o control.

A modo de ejemplo y con el objetivo de probar la funcionalidad de esta herramienta estadística sobre los datos, se realiza el análisis de 143 datos de la variable de temperatura

de vaciado (°C) del macroproceso de horno eléctrico en el programa Minitab, comprobando su utilidad Figura 2.10. La información presentada se analiza gráficamente sin determinar las causas de las variaciones, por tratarse de un periodo pasado en el que no se le puede efectuar correcciones.





Normalidad		Si los datos son no normales, usted puede observar un número mayor de falsas alarmas. Dado que menos de 2% de los puntos están fuera de los límites de control en la gráfica I, la prueba de normalidad no es necesaria.
Cantidad de datos		Usted no necesita preocuparse por la precisión de sus límites de control, porque los cálculos incluyen 100 o más puntos de datos.
Datos correlacionados		Si los datos están correlacionados, usted puede observar un número mayor de falsas alarmas. Debido a que menos del 2% de los puntos están fuera de los límites de control en la gráfica I, no es necesario realizar la prueba de correlación.
Gráficas alternativas		Esta gráfica sirve para supervisar el control del proceso. Si su principal objetivo es explorar sus datos o comparar su proceso antes y después de un cambio, utilice las Gráficas de control disponibles en Análisis gráfico o las Gráficas de control de antes/después.

Figura 2.10 Análisis de Datos Temperatura de Vaciado
Fuente: Autor, Minitab

Posteriormente de la gráfica IM-R Figura 2.11, se puede verificar que la variación del proceso es estable con una media de 1646,59 °C, no hay puntos fuera de control en la gráfica MR y la media del proceso pudiera no ser estable ya que 16 puntos (11,2%) están fuera de control en la gráfica de valores individuales y una serie de nueve puntos consecutivos en un lado de la línea central.

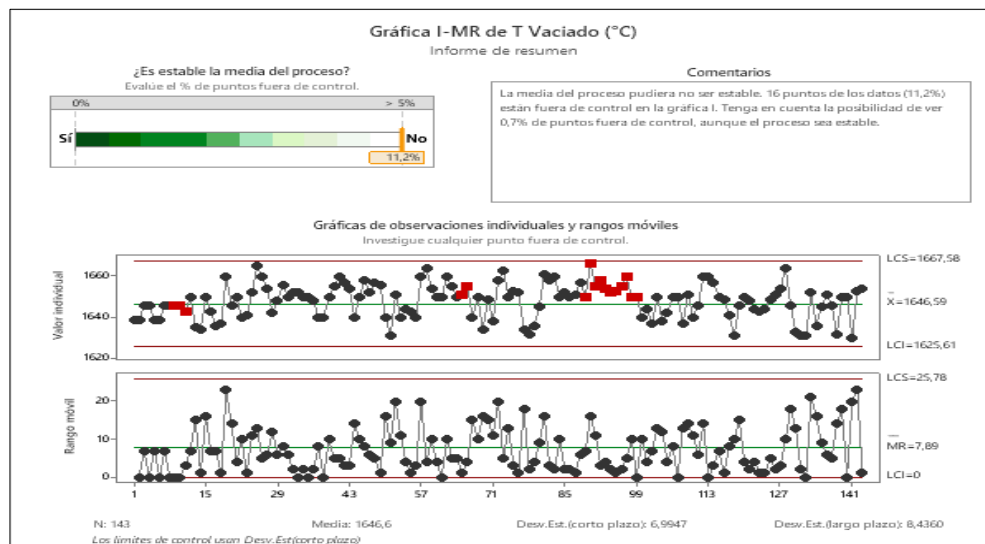


Figura 2.11 Gráfica I-MR de Variable de Temperatura de Vaciado de Horno Eléctrico
Fuente: Autor, Minitab

Bajo este método, se consideran las ecuaciones (2) y (3) para establecer sus límites de control.

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{MR}{d_2} \quad (2)$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \frac{MR}{d_2} \quad (3)$$

Donde: MR: Media de Rangos
d2: Constante

2.3 Identificación de Indicadores Clave de Rendimiento y Selección de Método de Análisis.

2.3.1 Identificación de Indicadores Clave de Rendimiento

Con el análisis y procesamiento de los datos ordenados de forma correcta se puede extraer los indicadores que son de influencia para los resultados del proceso de fundición Tabla 3.

Tabla 3 Indicadores Clave de Rendimiento

Indicador	Unidad Base	Objetivo
Tiempos	Min/Colada	Reducción
Mermas	Kg/t	Reducción
Energía	KWh/t	Reducción
Rendimiento	%	Incremento
Peso Promedio	t/Colada	Incremento
Consumos	Kg/t	Reducción

Fuente: Autor

2.3.2 Método de Análisis de Indicadores Clave de Rendimiento

La identificación del comportamiento histórico de los indicadores clave de rendimiento de estudio se realiza a través del análisis de su serie de tiempo, seguido de la definición de objetivos con metodología SMART, donde:

- Específico (S): Descripción clara y concisa de lo que se debe hacer y completar.
- Medible (M): Concreto y observable.
- Accionable (A): Posible en términos de costo, conocimiento, reto y tiempo.
- Realista (R): Relacionado con objetivos de proceso.
- Tiempo (T): Plan basado en el tiempo de ejecución.

A modo de ejemplo se realiza el análisis en Minitab de uno de los componentes del indicador de mermas de los últimos 16 meses Figura 2.12 con el fin de generar la herramienta visual más apropiada para su gestión, donde:

$$\text{Mermas} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{t}} \right) = \frac{\text{Mermas (Kg)}}{\text{Producción (t)}} \quad (4)$$

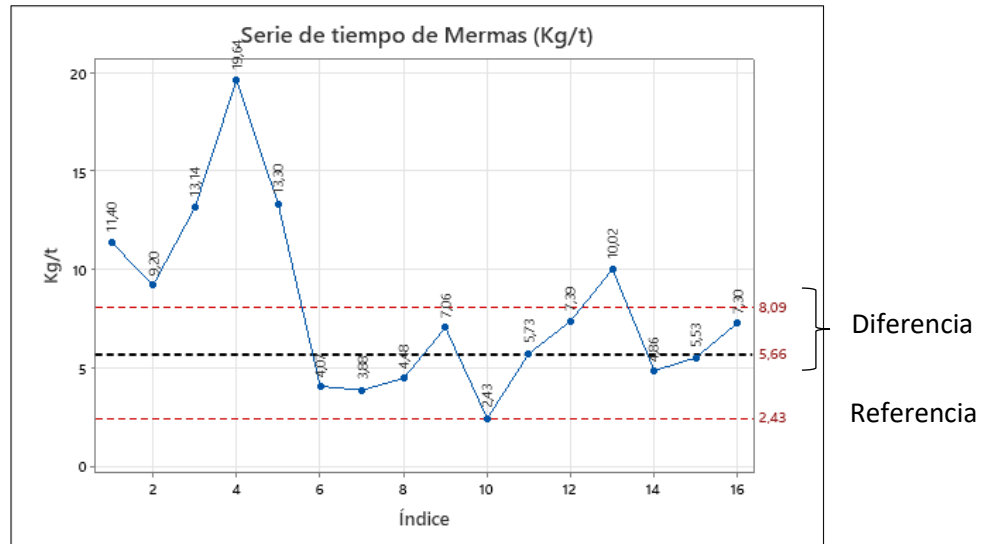


Figura 2.12 Serie de Tiempos de Mermas (Kg/t)
Fuente: Autor

1) Cálculo de Diferencia

$$\text{Diferencia} = \text{Promedio} - \text{Valor menor de Referencia} = 8,09 - 2,43 = 5,66 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{t}}\right) \quad (5)$$

2) Establecimiento de % de Reducción a la Diferencia

$$\% \text{ de Reducción} = 50\% \quad (6)$$

3) Cálculo de Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Objetivo} &= \text{Promedio} - (\% \text{ de Reducción} * \text{Diferencia}) = 8,09 - (50\% * 5,66) \\ &= 5,26 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{t}}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

4) Cálculo de % de Reducción

$$\% \text{ de Reducción} = \frac{(\text{Promedio} - \text{Objetivo})}{\text{Promedio}} * 100 = 34,98\% \quad (8)$$

5) Descripción de objetivo SMART

Reducir las mermas en un 34,98% de 8,09 Kg/t (promedio de 16 meses) a 5,26 Kg/t.

2.4 Modelado de la Información y Diseño de Estructura de Tablero de Control

La herramienta seleccionada para el desarrollo del tablero de control es Power BI, la cual permite visualizar los datos y compartir la información con toda la organización.

2.4.1 Administración de relaciones

Las relaciones entre datos transmiten el filtro que se aplica en las columnas de las tablas de un modelo hacia otras usando la dirección que sea definida en dicha relación. Las relaciones entre tablas deben ser configuradas por cardinalidad, dirección de filtro cruzado y activación de relación Tabla 4.

Tabla 4 Cardinalidad y Tipo de Filtro PBI

Tipo de Cardinalidad	Opciones de Filtro Cruzado
Uno a Varios	Único/Ambos
Uno a Uno	Ambos
Varios a Varios	Único/Ambos

Fuente: Autor

A continuación, se presentan las relaciones creadas entre las 12 tablas generadas en los macroprocesos, donde la "BD_HEA" del macroproceso de horno eléctrico es el punto de partida principal de las relaciones para diseño de filtros y manejo de la información debido a que marca los tiempos de producción Figura 2.13.

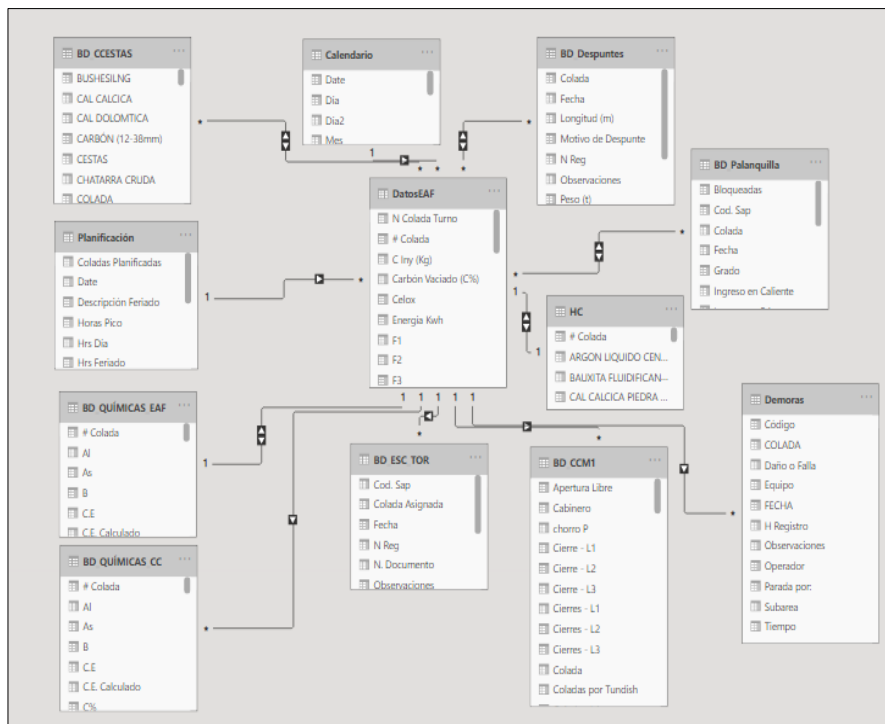


Figura 2.13 Relaciones entre Bases de Datos de Macroprocesos

Fuente: Autor

2.4.2 Creación de medidas

Power BI como herramienta de procesamiento de datos, calcula y devuelve automáticamente valores enlazados a los tipos de campos y agregaciones que se elijan.

A modo de ejemplo se presenta el desarrollo de la gráfica de seguimiento de tiempo de demoras en un gráfico de columnas que muestre los valores en orden descendente Figura 2.16.

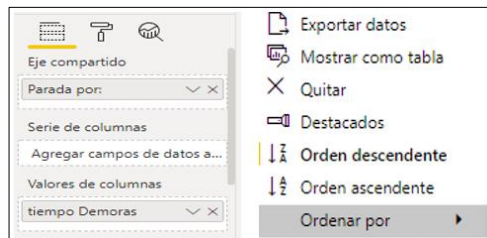


Figura 2.16 Sección de Campos y Formatos PBI
Fuente: Plataforma PBI.

Esta gráfica de barras Figura 2.17, tiene el fin de evaluar los responsables de gestión de los tiempos de parada del proceso productivo.

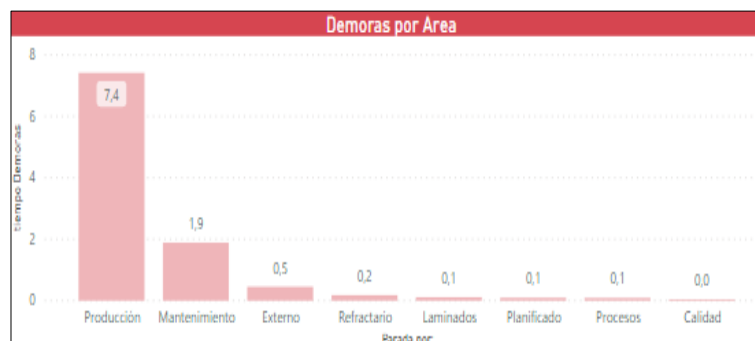


Figura 2.17 Gráfico de Barras de Tiempos de Parada (min/colada)
Fuente: Autor

Siguiendo el ejemplo mostrado, se hace uso de las diferentes herramientas visuales disponibles para la creación de las gráficas de análisis Figura 2.18.

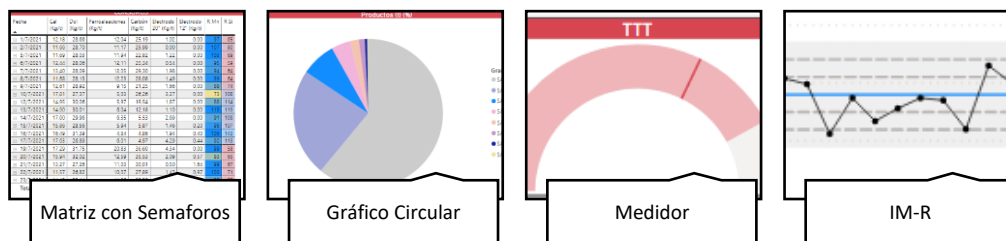


Figura 2.18 Tipos de Herramientas Visuales
Fuente: Autor

De esta manera se procede a dar forma, estructura y realizar el tablero de control con filtros enfocados a los diferentes niveles jerárquicos Figura 2.19, año, mes, día, turno y colada.

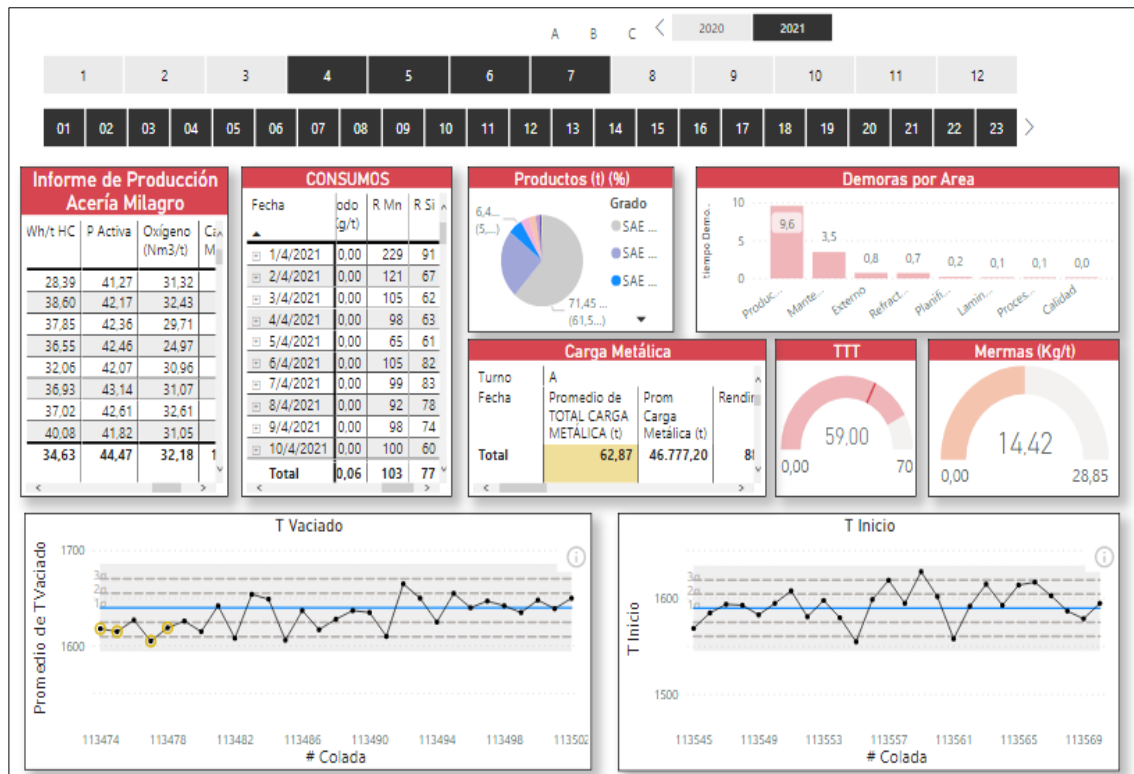


Figura 2.19 Tablero de Control
Fuente: Autor

2.6 Implementación

Para su manipulación, el tablero de control elaborado se instaló en las cabinas de mandos operacionales, supervisión, jefaturas, gerencias y dirección; acompañado de la respectiva capacitación de funcionalidad Figura 2.20. Con la disponibilidad de las tablas y gráficas de control, se realizaron periódicamente reuniones con grupos de trabajo para análisis de datos, causas posibles de influencia y propuestas de acciones correctivas con el fin de ajustar los promedios, desviaciones y tendencias encontradas.



Figura 2.20 Difusión de Funcionalidad de Tablero de Control
Fuente: Autor

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el periodo de junio a agosto del año 2021.

3.1 Resultados sobre Sistema de Adquisición de la Información

Con el trabajo realizado, se logró la optimización del sistema de recolección de la información, eliminando datos que no aportan valor en un 100% y la reducción del tamaño de las bases de datos en un 22%, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 Datos Registrados en Procesos

Ítem	Área	Cantidad de Datos Antes	Cantidad de Datos Después
1	Carga de Cestas	37	30
2	Horno Eléctrico	137	52
3	Horno Cuchara	145	125
4	Colada Continua	122	115
5	Refractarios	122	117

Fuente: Autor.

3.2 Resultados sobre Métrica de Temperatura de Vaciado

3.2.1 Seguimiento y Control para Temperatura de Vaciado

Al realizar el seguimiento de la métrica de temperatura de vaciado se pudo evidenciar un comportamiento fuera de control. En la Figura 3.1 se presenta la gráfica de IM de los datos registrados, con círculos identificados con el número de la regla de sensibilidad de Shewart incumplida.

Tras el análisis de esta información se pudieron obtener las siguientes causas asociadas sobre sus incumplimientos:

1. Picos por influencia de causas especiales.
2. Tendencia a cambios de media del proceso debido a datos erróneos asociados a falsas señales por vibración de equipo de medición.
3. Falsa repetitividad por influencia de la operación.
4. Datos aberrantes ligados a desgaste de equipo.
5. Datos aberrantes debido a falta de calibración de equipos en el proceso.

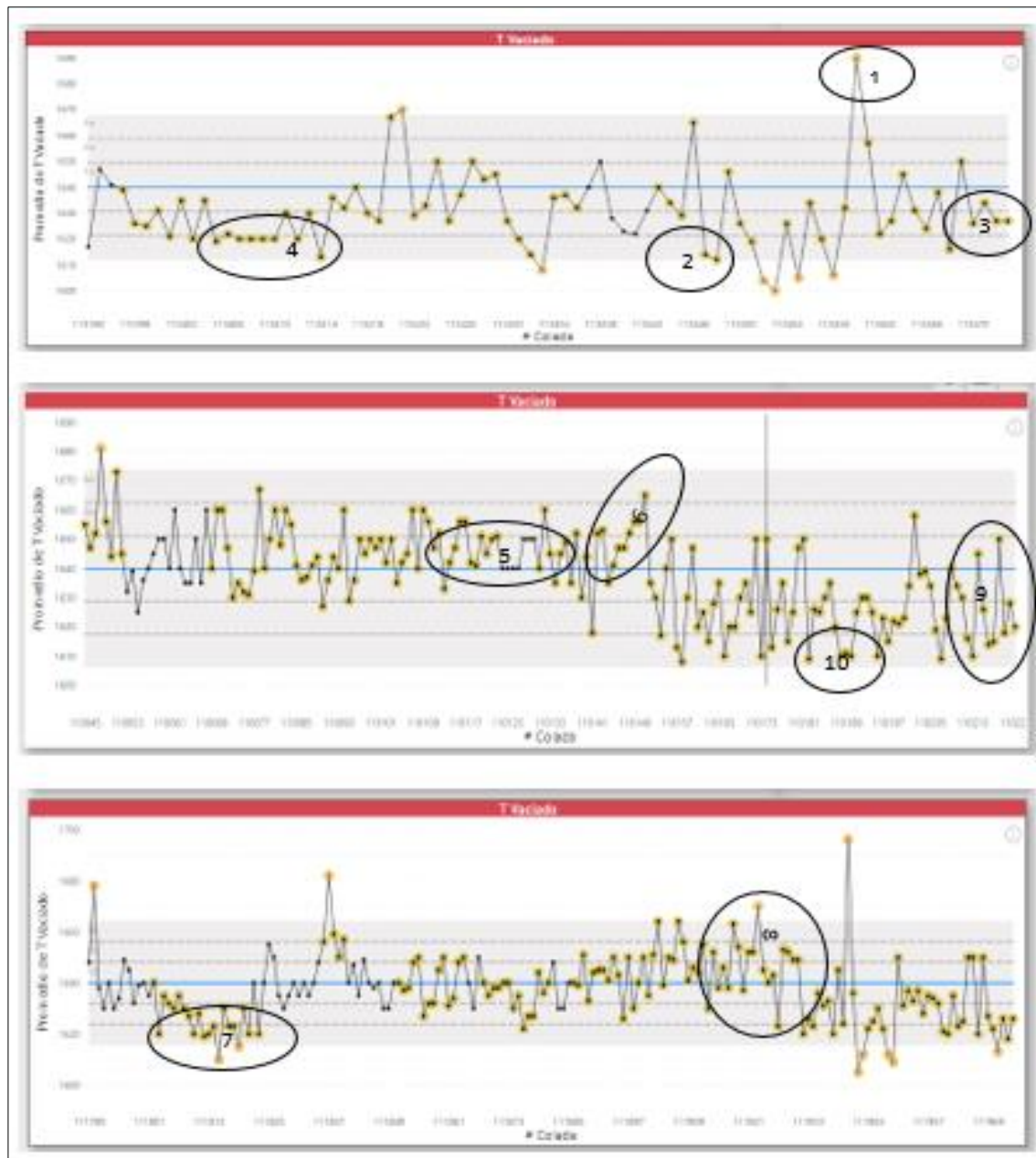


Figura 3.1 Identificación de Reglas de Shewart en Temperatura de Vaciado
Fuente: Autor

3.2.1.1 Diagrama causa - efecto para determinar las causas que afectan la uniformidad de los datos

Con el fin de determinar el origen de las causas asociadas a la variación de los datos observadas en el periodo de diagnóstico, se realizó una lluvia de ideas y la elaboración de un diagrama de causa efecto Figura 3.2.

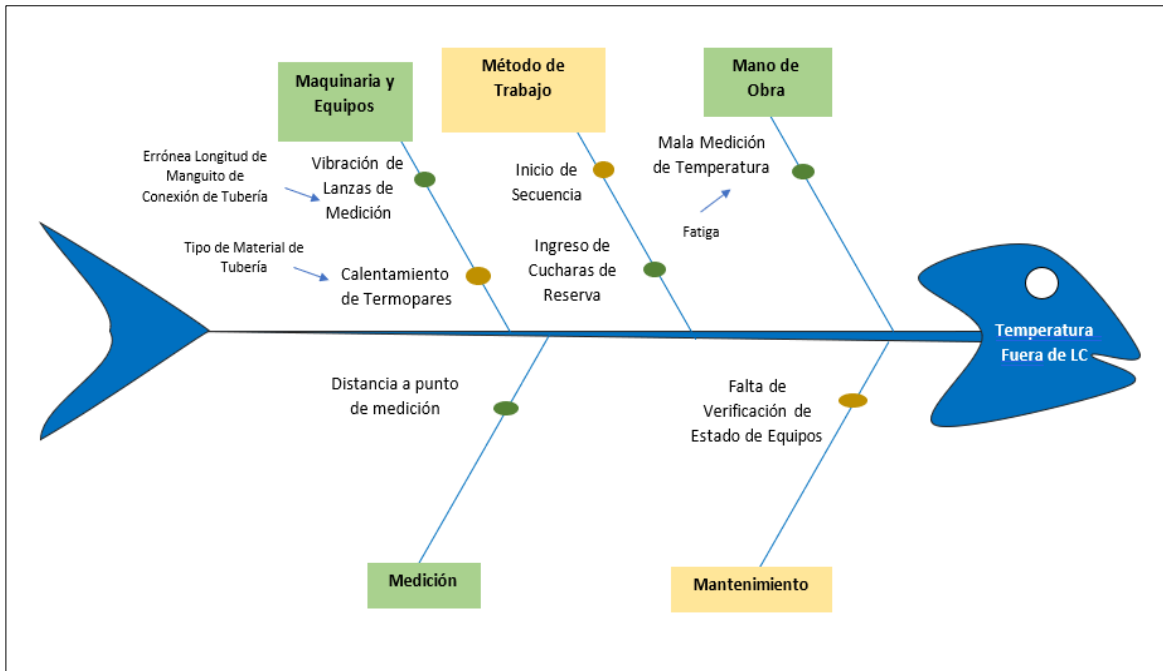


Figura 3.2 Análisis de Ishikawa de Causas de Variación en Temperatura de Vaciado
Fuente: Autor

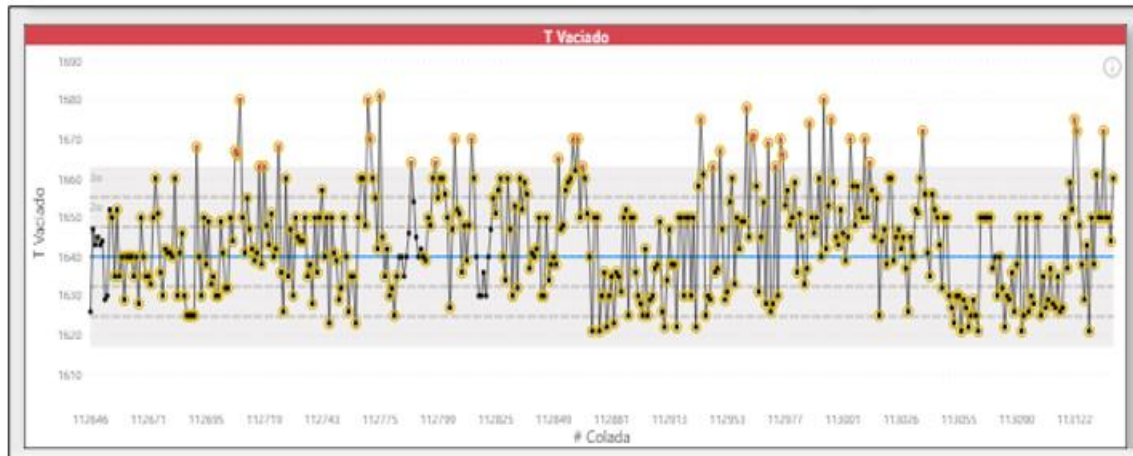
Con las causas asignadas y verificadas, se procedió a realizar la implementación de acciones correctivas Tabla 6.

Tabla 6 Acciones Correctivas en Causas asignadas sobre Temperatura de Vaciado

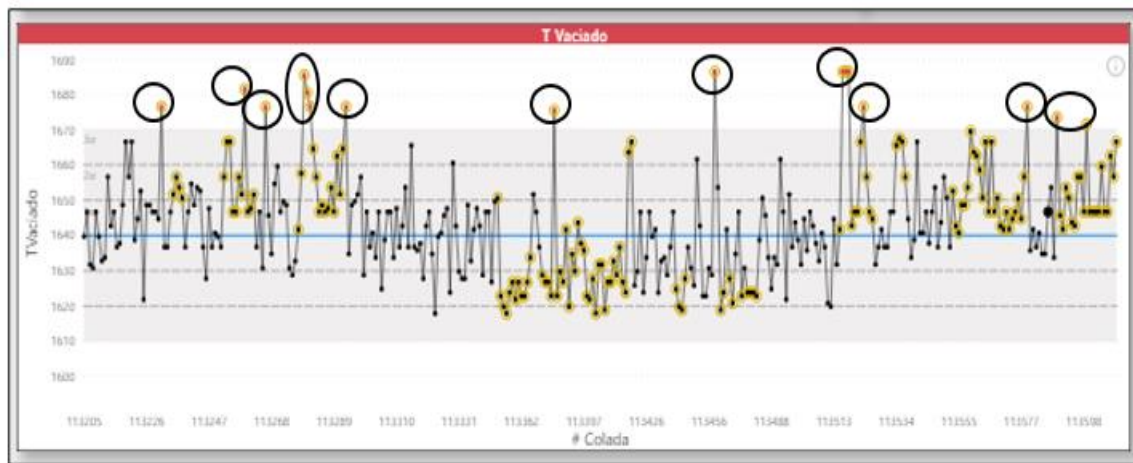
Causa	Acción Correctiva
Vibración de lanzas por errónea longitud de manguito de conexión de tubería.	Modificación de longitud de manguito de conexión de tubería y cambio de tipo de rosca.
Calentamiento de termopares por tipo de material de tubería.	Cambio de material de tubería de acero negro a tubería para alta temperatura.
Mala medición de temperatura por fatiga.	Rotación de personal con volante asignado.
Distancia a punto de medición.	Construcción de estructura para soporte de lanza.
Falta de verificación de estado de equipos.	Implementación de registro de chequeo de equipo.

Fuente: Autor

Implementadas las acciones correctivas, se logró la eliminación de picos como se muestra en la Figura 3.3 con un efecto de reducción del promedio de temperatura de vaciado. La reducción del tiempo de conexión de horno y consumo de energía, representan un ahorro de \$ 51.000,00 anuales en el costo por tonelada.



a)



b)

Figura 3.3 a) Gráfica de Valores Individuales Antes de Acciones Correctivas - b) Gráfica de Valores Individuales Después de Acciones Correctivas

Fuente: Autor

3.3 Resultados sobre Indicador Clave de Rendimiento de Consumo de Carbón

3.3.1 Seguimiento y Control de Consumo de Carbón

Al realizar el seguimiento de la matriz de consumos, se encontraron datos uniformes en todos los turnos con un promedio de 24,4 Kg/t Figura 3.4; valor que se encuentra desviado del objetivo de 17 Kg/t, fijado a través de benchmarking.

CONSUMOS			
Día	5	6	Total
01	21,39	26,96	25,34
02	16,16	31,22	23,75
03	15,94	26,44	19,04
04	16,40	26,89	21,60
05	17,16	24,98	20,85
06	18,27	24,19	22,45
07	20,87	32,26	27,49
09	27,16	26,69	26,87
10	31,61	41,81	33,79
12	26,65	8,71	18,39
13	18,49	15,31	16,30
14	15,87	17,02	16,60
15	18,33	28,13	23,53
16	15,22	44,64	29,44
17	17,26	31,45	20,78
19	30,54	33,53	32,04
21	35,82	12,76	25,29
22	36,35	24,47	31,60
23	32,91	13,04	24,56
Total	23,13	25,66	24,40

CONSUMOS			
A	B	C	Total
23,34	24,08	25,86	24,40

Figura 3.4 Seguimiento de Consumo de Carbón
Fuente: Autor

3.3.1.1 Análisis 5 Porqués para determinar las causas que afectan el consumo de carbón

Durante la reunión con el equipo responsable, la operación reportó que la inyección se encontraba configurada de manera automática, sin embargo, existían periodos donde se presentaba alarmas de falla en el sistema con un resultado final del aumento de consumo al triple del nominal. Tras realizar el análisis con la herramienta estadística de análisis de causas 5 porqués se obtuvo la información presentada en la Figura 3.5.

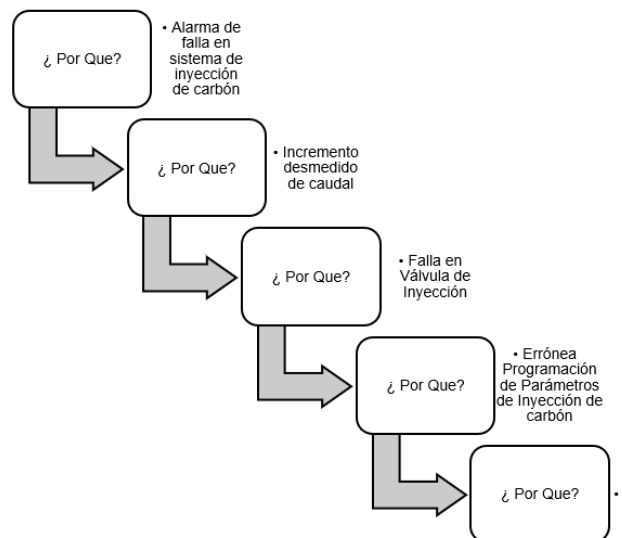


Figura 3.5 Análisis de 5 Porqués para Consumo de Carbón
Fuente: Autor

Para atacar la causa raíz se realizó la configuración e interrelación de las señales eléctricas/electrónicas del equipo de inyección de carbón, regulación de porcentajes de apertura de válvulas con un enlace de presión y peso con mediciones de caudales y presentación de consumos del equipo en tiempo real para control del operador.

Con la aplicación de las correcciones en el sistema de inyección de carbón, se logró reducir el consumo de carbón en 19,76% Figura 3.6, esto debido a que el operador obtuvo la información del carbón inyectado en sistema HMI y su resultado de consumo en tablero de control colada a colada, lo cual permitió un correcto manejo de caudal y tiempos de inyección en el proceso.

CONSUMOS				
Día	5	6	7	Total
01	21,39	26,96	25,19	25,28
02	16,16	31,22	25,99	24,13
03	15,94	26,44		19,04
04	16,40	26,89		21,60
05	17,16	24,98	22,82	21,24
06	18,27	24,19	25,34	23,72
07	20,87	32,26	29,30	28,23
09	27,16	26,69	21,25	24,97
10	31,61	41,81	26,26	31,30
12	26,65	8,71	19,54	18,78
13	18,49	15,31	12,18	14,48
14	15,87	17,02	5,53	12,18
15	18,33	28,13	5,87	16,78
16	15,22	44,64	4,86	20,89
17	17,26	31,45	4,97	16,42
19	30,54	33,53	36,60	32,51
21	35,82	12,76	30,01	27,09
22	36,35	24,47	27,89	30,09
23	32,91	13,04	29,30	25,77
Total	23,13	25,66	19,60	22,91

CONSUMOS			
A	B	C	Total
18,14	18,30	23,13	19,60

Figura 3.6 Resultados de Consumo de Carbón
Fuente: Autor

El trabajo realizado sobre el consumo de carbón consiguió una reducción para el costo por tonelada de \$ 275.000,00 anuales.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con la evidencia presentada en el documento, las conclusiones son:

1. Se logró realizar la recolección y ordenamiento de los datos registrados en el proceso de fundición, lo cual permitió el desarrollo de herramientas de captación de la información enfocadas a los requerimientos de procesamiento y además facilitó su manipulación durante la construcción del tablero de control.
2. La segmentación realizada de las métricas e indicadores clave de rendimiento permitió el desarrollo de herramientas visuales, las cuales facilitaron la interpretación y control de la evolución de las métricas e indicadores en tiempo real, así como la evaluación de funcionalidad e influencia de los cambios planificados.
3. Se logró diseñar y construir el tablero de control de forma estructurada de acuerdo con los niveles de información requerido, a partir del cual se pudo realizar el seguimiento de la métrica de temperatura de vaciado con gráficas de control, posibilitando detectar las desviaciones respecto a los límites de control, los incumplimientos a las reglas de sensibilidad de Shewart y sus causas asociadas. De la misma forma, el análisis mensual del consumo de carbón de inyección promedio, permitió realizar el hallazgo de las desviaciones respecto al objetivo planteado y la determinación de su causa raíz.
4. La difusión del tablero de control como herramienta de análisis permitió el desarrollo de una nueva cultura organizacional para la manipulación de métricas e indicadores, enfocada en la reducción de la variabilidad y sus resultados, facilitando la toma de decisiones en los diferentes niveles jerárquico e incentivando a la creación de grupos de trabajo para detección de causas de falla e implementación de acciones correctivas.
5. La implementación del tablero de control en los diferentes puestos de trabajo en conjunto con la aplicación de herramientas de mejora continua durante el periodo de junio a agosto del año 2021 posibilitó la identificación y corrección de diferentes factores que afectaban el proceso tales como, manipulación de parámetros de trabajo sin detección en el proceso, errores en diseño y selección de equipos, falta de mantenimiento preventivo, entre otras. La asignación de causas y ejecución de acciones correctivas sobre los factores de influencia de la métrica de temperatura de vaciado e indicador de consumo de carbón lograron obtener \$ 51.000,00 y \$ 275.000,00 de ahorro anuales sobre el costo por tonelada, respectivamente.

4.2 Recomendaciones

1. Para el desarrollo de un siguiente nivel se debe llevar a cabo una revisión del diseño, que incluya probar controles de navegación adicionales para examinar los resultados mediante la experiencia de los usuarios y así poder facilitar la interacción.
2. La consulta de la información a través de lenguaje SQL facilitaría la extracción e interacción de los datos, adicionalmente brindaría más facilidades en las relaciones creadas y la programación del tablero de control.
3. Para el futuro se podría utilizar toda la información recolectada para realizar modelos predictivos de los resultados con la herramienta estadística R a través del procesamiento de datos históricos y así reducir los tiempos de respuesta del proceso frente a variaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Acero, A. L. (2021). Trend topics de la semana. *La semana en análisis* .
- Arbonés, Á. L. (2006). *Conocimiento para Innovar*. España: Ediciones Días de Santos, S. A.
- Kerzner, H. (2013). *Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Luigi M. Galasso, A. P. (2016). The Knowledge-based tools for the steel industry. *IFAC, International Federation of Automatic Control*.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introducción al Control Estadístico de la Calidad* . United States of America: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Paul Riches, P. C. (2015). LR Process Expert - cost-efficient and modular process automation expert class system for long rolling plants. *ABM – METALURGIA, MATERIAIS & MINERAÇÃO*.
- S Galli, C. Q. (2016). El tablero de comando también puede utilizarse en las PYMES.
- Vidal Arizabaleta, E. (2004). *Diagnóstico organizacional*. Colombia : Ecoe Ediciones.