



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE  
COTOPAXI**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO A TRAVÉS DEL  
ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA  
PLANTA INDUSTRIAL DE FUNDICIÓN DE CEDAL S.A.**

**Autores:**

Peñañiel Hurtado Julio César

**Tutor:**

Ing. MSc. Bladimiro Hernán Navas Olmedo

**Latacunga – Ecuador**

**Febrero 2020**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo, **Julio César Peñafiel Hurtado**, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“Mejora del proceso productivo a través del análisis y simulación de actividades en la planta industrial de fundición de Cedal S.A.**, siendo el **Ing. MSc. Hernán Navas**, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

  
.....  
PEÑAFIEL HURTADO JULIO CÉSAR

C.C.172384937-6

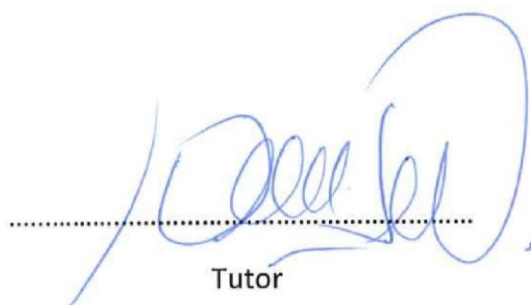
## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad Tutor del trabajo de investigación sobre el título:

**“MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO A TRAVES DEL ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA PLANTA INDUSTRIAL DE FUNDICIÓN DE CEDAL S.A.”**, de JULIO CESAR PEÑAFIEL HURTADO, de la carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL , considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero, 2020

Para constancia firman:

  
Tutor

Ing. MSc. Bladimiro Hernán Navas Olmedo

C.C. 050069554-9

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: JULIO CESAR PEÑAFIEL HURTADO, con el título de Proyecto de titulación: “**MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO A TRAVES DEL ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA PLANTA INDUSTRIAL DE FUNDICIÓN DE CEDAL S.A.**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

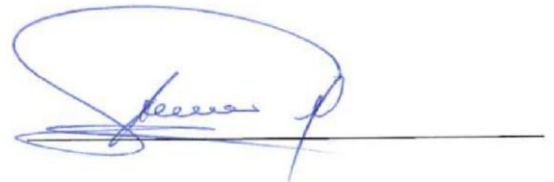
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Febrero, 2020

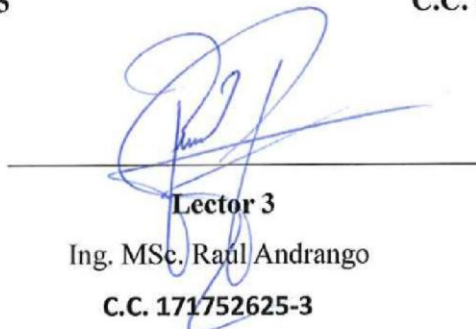
Para constancia firman:



**Lector 1 (Presidente)**  
Ing. PhD. Medardo Ulloa  
C.C. 100097032-5



**Lector 2**  
Ing. Angel Avemañay  
C.C. 080308980-4



**Lector 3**  
Ing. MSc. Raúl Andrango  
C.C. 171752625-3



www.cedal.com.ec

## AVAL EMPRESA CEDAL S.A. PLANTA LATACUNGA

### CERTIFICADO

Latacunga, 13 de febrero de 2020

Quien suscribe, Ingeniero Martín Burbano F., en calidad de Gerente de Planta de la Empresa Cedal S.A. Certifico que el Sr. **JULIO CÉSAR PEÑAFIEL HURTADO** con C.C. 1723849376, realizó en las instalaciones de la Empresa el proyecto de investigación titulado **"MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA PLANTA INDUSTRIAL DE FUNDICIÓN CEDAL S.A."**. En la ejecución de dicho proyecto el Sr. Julio César Peñafiel Hurtado demostró habilidades y conocimientos en su especialidad, así también generó resultados en su proyecto que serán de gran utilidad a la Empresa.

Durante su estadía el Sr. Peñafiel, se hizo acreedor de nuestra confianza por la responsabilidad, honestidad y don de gentes demostrado. Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, el interesado puede hacer uso de este documento en la forma que estime conveniente.

Atentamente,

Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A.

**"CEDAL"**  


Ing. Martín Burbano F.  
**GERENTE DE PLANTA**

**Disciplina, humildad e integridad.**

## **AGRADECIMIENTO**

**A todos quienes hicieron posible esto**

**Julio C. Peñafiel H.**

## **DEDICATORIA**

**A mi amada madre, a la investigación y la ciencia**

**Julio C. Peñafiel H.**

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
1.1. Título del Proyecto: .....	1
1.2. Fecha de inicio: .....	1
1.3. Fecha de finalización: .....	1
1.4. Lugar de ejecución: .....	1
1.5. Facultad que auspicia: .....	1
1.6. Carrera que auspicia: .....	1
1.7. Equipo de Trabajo: .....	1
1.8. Coordinadores del proyecto: .....	1
1.9. Área de conocimiento: .....	1
1.10. Línea de investigación: .....	1
1.11. Sub líneas de investigación de la carrera: .....	2
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	3
3.1. Beneficiarios directos del proyecto .....	3
3.2. Beneficiarios indirectos .....	3
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
5. OBJETIVOS: .....	4
5.1. General .....	4
5.2. Específicos .....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA .....	6
7.1. Corporación ecuatoriana de aluminio S.A. ....	6
7.1.1. Procesos generales planta CEDAL Latacunga .....	7
7.1.2. Fundición .....	7
7.1.3. Extrusión .....	8
7.1.4. Matricería .....	8



7.1.5. Anodizado .....	8
7.1.6. Pintura electrostática .....	8
7.1.7. Empaque.....	8
7.1.8. Planta de Tratamiento.....	8
7.2. Sistema de producción.....	9
7.2.1. Producción.....	9
7.2.2. Recursos de un sistema productivo.....	9
7.2.3. Productividad.....	10
7.2.4 Importancia de la productividad .....	11
7.2.5. Aspectos importantes de la productividad .....	11
7.2.6. Formula de la productividad:.....	11
7.3. La meta de una empresa .....	12
7.4. Capacidad efectiva.....	12
7.5 Capacidad Real.....	12
7.6. Tasa de utilización de la capacidad .....	13
7.7. Diagramas.....	13
7.7.1. Diagrama de Pareto .....	13
7.7.2. Diagrama de procesos.....	14
7.7.3. Cursograma analítico .....	15
7.7.4. Gráfica de control .....	15
7.8.1. Fórmulas para obtener el tiempo tipo o estándar .....	17
8. HIPÓTESIS .....	32
8.1 V. independiente.....	32
8.2 V. dependiente.....	32
9. METODOLOGÍA .....	32
9.1. Tipos de investigación.....	32
9.1.1. Investigación descriptiva .....	32
9.2. Métodos de investigación.....	33
9.2.1. Método inductivo.....	33
9.2.2. Método bibliográfico .....	33
9.3. Técnicas de investigación.....	33
9.3.1 Investigación de campo .....	33
9.3.2 Observación.....	33
9.3.3 Estudio de tiempos .....	33
9.4. Instrumentos de investigación .....	33
9.4.1 Diagrama de flujo.....	33
9.4.2 Calculo estadístico.....	34
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	34

10.1 Análisis de la situación actual de la empresa.....	34
10.1.1 Observación de procedimientos en el área de fundición de manera secuencial.....	34
10.1.1.1. Productos de la planta de fundición Cedal.....	34
10.1.2. Levantamiento de información de los procesos.....	37
10.1.2.1.Materia prima para el proceso de fundición .....	37
10.1.2.1.1. Aluminio primario .....	37
10.1.2.1.3. Chatarra Negra.....	38
10.1.2.1.4. Chatarra Mesa importada.....	38
10.1.2.1.6. Magnesio .....	39
10.1.2.1.7. Silicio.....	40
10.1.2.1.8. TIBOR.....	40
10.1.2.1.8. Argón.....	41
10.1.2.1.9. Materiales cerámicos .....	41
10.1.2.2. Proceso de fundición .....	43
10.1.2.2.1. Melting .....	43
10.1.2.2.3. Tundish.....	44
10.1.2.2.4. Homogenizado.....	44
10.1.2.2.5. Sierra loma.....	44
10.1.2.2.6. Descripción de proceso melting.....	45
10.1.2.2.7. Descripción de proceso casting .....	46
10.1.2.2.8. Descripción de proceso tundish .....	48
10.1.2.2.9. Descripción de proceso homogenizado .....	50
10.1.2.2.10. Descripción de proceso sierra loma .....	52
10.2. Medición de tiempos de los distintos procesos en fundición.....	54
10.2.1. Tiempos suplementarios .....	54
10.2.2. Tiempos de producción .....	55
10.2.3. Valoración de trabajo .....	57
10.3. Análisis de Consumo .....	59
10.4. Análisis de variación de los datos.....	61
10.4.1. Distribución de datos Melting/Casting .....	61
10.4.2. Distribución de datos Tundish .....	62
10.4.3. Distribución de datos homogeneizado .....	63
10.5. Modelado proceso actual .....	64
10.5.2. Entidades .....	64
10.5.3. Rutas .....	65
10.5.4. Recursos .....	65
10.5.6. Arribos.....	66
10.5.7. Atributos .....	66

10.5.8. Variables Globales.....	67
10.5.9. Subrutinas.....	67
10.5.10. Proceso modelo actual.....	67
10.5.11. Layout del Proceso Actual.....	68
10.5.12. Resultados de la simulación.....	69
10.6. Optimización con SimRunner.....	70
10.7. Escenarios.....	71
10.7. Modelo Propuesto.....	72
10.7. Utilización de locaciones.....	72
10.7. Comparativa de resultados Actual-Propuesto.....	73
10.7. Incremento de la productividad.....	74
11. VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL PROYECTO.....	75
11.1. Impactos Técnicos.....	75
11.2. Impactos Económicos.....	75
11.3. Impactos Ambientales.....	75
11.4. Impactos Sociales.....	75
12.PRESUPUESTO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	75
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:.....	76
13.1. Conclusiones:.....	76
13.2. Recomendaciones:.....	77
14. BIBLIOGRAFÍA:.....	78
15. ANEXOS.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Logotipo de la empresa CEDAL .....	6
Figura 2. Ciclo del aluminio .....	8
Figura 3. Sistema de producción .....	9
Figura 4. Diagrama Pareto.....	13
Figura 5. Cursograma analítico .....	15
Figura 6. Gráfica de control.....	16
Figura 7. Gráfica Hombre-Máquina .....	16
Figura 8. Valoración del ritmo de trabajo.....	18
Figura 9 ProModel Manual .....	30
Figura 10 Almacenamiento de aluminio primario .....	37
Figura 11 Deposito de la Chatarra rechazada .....	37
Figura 12 Chatarra negra almacenada en los patios de fundición.....	38
Figura 13 Chatarra mesa importada.....	38
Figura 14 Chatarra de alambre .....	39
Figura 15 Almacenaje de Magnesio .....	39
Figura 16 Almacenamiento de Silicio .....	40
Figura 17 Tibor.....	40
Figura 18 Aragón.....	41
Figura 19 Nitruro de Boro .....	41
Figura 20 Fibra de cerámica .....	41
Figura 21 Colchoneta de fibra cerámica.....	42
Figura 22 Varillas de grafito.....	42
Figura 23 O-ring .....	42
Figura 24 Proceso Melting .....	43
Figura 25 Proceso Casting.....	43
Figura 26 Proceso Tundish.....	44
Figura 27 proceso sierra loma .....	44
Figura 28 Consumo fundición promedio 2019 .....	60
Figura 29 Distribución de datos Melting/Casting.....	61
Figura 30 Análisis de distribución Melting/Casting .....	61
Figura 31 Distribución de datos Tundish.....	62
Figura 32 Análisis de distribución Tundish.....	62
Figura 33 Distribución de datos de homogeneizado.....	63
Figura 34 análisis de distribución de homogeneizado .....	63
Figura 35 Instalaciones del modelo actual.....	64
Figura 36 Entidades del modelo con tres gráficos .....	64
Figura 37 Definición de la red de desplazamiento actual .....	65
Figura 38 Recursos del modelo actual.....	66
Figura 39 Llegadas al sistema actual .....	66
Figura 40 Atributos del sistema actual .....	66

Figura 41 Variables del sistema actual .....	67
Figura 42 Subrutina TH_CALC actual.....	67
Figura 43 Proceso actual .....	68
Figura 44 Layout del Proceso Actual .....	68
Figura 45 Resultados de la simulación .....	69
Figura 46 resultados de variables del proceso de fundición .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Beneficiarios del proyecto:.....	3
Tabla 2 Cuadro de actividades de la investigación.....	5
Tabla 3. Acciones que tiene lugar durante el proceso dado.....	14
Tabla 4 Productos de la empresa Cedal S.A.....	35
Tabla 5. Layout planta de fundición Cedal.....	36
Tabla 6 Descripción de proceso melting .....	45
Tabla 7 Descripción actividades - proceso casting .....	47
Tabla 8 Descripción actividades - proceso tundish .....	48
Tabla 9 Descripción actividades - proceso homogenizado.....	50
Tabla 10 Proceso sierra loma .....	52
Tabla 11 Estudio de tiempos suplementos.....	54
Tabla 12 Tiempos de producción .....	55
Tabla 13 Tiempos de producción planta de fundición.....	56
Tabla 14 Resumen de los tiempos del proceso .....	57
Tabla 15 Estudio de tiempos valoración y suplementos.....	57
Tabla 16 Estudio de tiempos valoración y suplemento .....	58
Tabla 17 Análisis de consumo de fundición.....	59

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Formula de la productividad para empresas de manufactura.....	11
Ecuación 2 Productividad global para productos heterogénea en empresas de manufactura.....	12
Ecuación 3 Fórmula para calcular la capacidad real.....	13
Ecuación 4 Tasa de utilización de la capacidad.....	13
Ecuación 5. Tiempo estándar. ....	17
Ecuación 6. Tiempo observado promedio. ....	17
Ecuación 7. Tiempo normal. ....	17
Ecuación 8 Calcula el tiempo de ciclo y trabajo en proceso.....	19

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TITULO:** “Mejora del proceso productivo a través del análisis y simulación de actividades en la planta industrial de fundición de Cedal S.A. Latacunga-ecuador”.

### RESUMEN

**Autor:**

Peñañiel Hurtado Julio César

La Corporación ecuatoriana de aluminio Cedal S.A. es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de perfiles extruidos de aluminio para uso arquitectónico y estructural desde hace ya 45 años, su planta principal se ubica en la avenida Unidad Nacional, parroquia Ignacio Flores, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. Al interior de esta fábrica se encuentra la única planta de fundición de la corporación, misma en la que se pudo notar el gran volumen de la demanda que se le solicita por parte de las extrusoras tanto de Latacunga como de Durán en la provincia del Guayas, por esta razón el proceso de fundición requiere de una constante mejora respecto a la tasa de producción eliminando tiempos improductivos y paros de producción, por lo cual se realizó un análisis de actividades a través de la simulación con el software ProModel, detectando tiempos de transporte optimizables y almacenamientos móviles que pueden utilizarse de mejor manera para incrementar la tasa de producción existente, al elaborar el modelo de simulación de la situación actual de la planta se identificaron los puntos críticos del proceso de producción en donde se aplicaron mejoras para optimizar y estandarizar el flujo de material incrementando la tasa de producción en un 8.8% lo que representa un incremento de productividad de 10Tn semanales lo que representa una mejora para el proceso productivo. Conforme a los resultados se argumenta que la elaboración de modelos de simulación es una herramienta de mejora poderosa, brindando a cualquier tipo de industria competitividad y desarrollo.

**Palabras clave:** Optimizar, productividad, procesos, producción, Fundición, CEDAL, Simulación.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES SCHOOL**

**THEME:** “Improvement of the production process through the analysis and simulation of activities in the industrial smelting plant at Cedal S.A. factory of Latacunga-Ecuador”

**ABSTRACT**

**Author:**

Peñañiel Hurtado Julio César

The Ecuadorian aluminum factory called Cedal S.A. It is a company dedicated to the manufacture and marketing of extruded aluminum profiles for architectural and structural use for 45 years, its main plant is located at Unidad Nacional Avenue, in Ignacio Flores Parish, Latacunga Canton, Cotopaxi Province. Inside this factory the unique smelting plant of the company is found, which showed the large volume of demand that is requested by the extruders of both Latacunga and Durán the last one located at Guayas province, for this reason the smelting process requires a constant improvement regarding the production rate eliminating downtime and production stoppages, therefore, an activity analysis was carried out through the simulation with ProModel software, detecting optimized transport times and mobile storage that can be better used to increase the existing production rate, when the situation simulation model about the current situation of the plant was developed, it was identified the critical points of the production process where improvements were applied to optimize and standardize the flow of material by increasing the production rate by 8.8% representing a productivity increase of 10 Ton per week which represents an improvement for the production process. According to the results, it is argued that the development of simulation models is a powerful improvement tool, giving competitiveness and development to any kind of industry.

**Keywords:** Optimize, productivity, processes, production, Foundry, CEDAL, Simulation.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor **PEÑAFIEL HURTADO JULIO CÉSAR** con **CI: 1723849376** egresado de la **CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, cuyo título versa **“MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO A TRAVES DEL ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA PLANTA INDUSTRIAL DE FUNDICIÓN CEDAL S.A.”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, febrero del 2020

Atentamente,

MSc. Erika Cecilia Borja Salazar  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
C.C. 050216109-4



CENTRO  
DE IDIOMAS



## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **1.1. Título del Proyecto:**

Mejora del proceso productivo a través del análisis y simulación de actividades en la planta industrial de fundición de CEDAL S.A.

### **1.2. Fecha de inicio:**

Septiembre 2019

### **1.3. Fecha de finalización:**

Febrero 2020

### **1.4. Lugar de ejecución:**

Avenida Unidad Nacional, Parroquia Ignacio Flores, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

### **1.5. Facultad que auspicia:**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

### **1.6. Carrera que auspicia:**

Ingeniería Industrial.

### **1.7. Equipo de Trabajo:**

Msc. Navas Olmedo Bladimiro Hernán

C.C. 050069554-9

Título tercer nivel: Ingeniero Industrial

Título de cuarto nivel: Magister en Gestión de la Producción

### **1.8. Coordinadores del proyecto:**

Peñañiel Hurtado Julio César

C.C. 172384937-6

Título Bachiller: Ciencias Generales

### **1.9. Área de conocimiento:**

Ingeniería, Industria y Producción.

### **1.10. Línea de investigación:**

Optimización de procesos productivos.

### **1.11. Sub líneas de investigación de la carrera:**

Optimización de procesos productivos.

## **2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

En la actualidad, las empresas buscan cada vez más el acercamiento a la competitividad adoptando técnicas y estrategias que mejoren los resultados en el menor tiempo posible. Muestra de ello es que las entidades utilizan cada vez más, herramientas de optimización basadas en modelos de estudio estadístico con el propósito de establecer metas que permitan el desarrollo de las actividades contempladas en sus planes estratégicos.

Las acciones que impliquen la supresión de actividades innecesarias, optimización de procesos y aumento de la productividad permiten la consecución de los objetivos estratégicos de una compañía a través del incremento de los indicadores de eficiencia y economía. Además, el fruto del conocimiento orientado a la mejora continua con retroalimentación de los aprendizajes de manera sistémica que facilita la aplicación de nuevas propuestas de mejora resulta invaluable.

Los procesos que se ejecutan en la planta de fundición Cedal S.A. deben mantener un margen de producción adecuado para abastecer la demanda requerida, misma que representa un reto a la hora de cumplir con los estándares de calidad, todo esto debido a los procedimientos críticos enmarcados dentro de las actividades que se deben realizar para la fabricación del producto, los cuales deben ser revisados periódica y minuciosamente; en vista de esto es de vital importancia una correcta administración de la producción en especial con la existencia de paros de producción y rechazos por no conformidades; estos últimos afectan de manera contundente al indicador de productividad que se relaciona directamente con la optimización de procesos que ofrece esta y otras investigaciones.

Para tal efecto, se considera la simulación como la herramienta propicia para evaluar y proponer soluciones a los problemas que enfrenta la empresa, todo esto basado principalmente en metodologías desarrolladas precisamente para enfocarse en la utilidad del estudio con base en los efectos tanto endógenos como exógenos asociados al proceso ajustando todos los recursos en un sistema de trabajo sinérgico y eficiente.

### 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

#### 3.1. Beneficiarios directos del proyecto

**Tabla 1** Beneficiarios del proyecto:

Beneficiarios directos	N° de Trabajadores
Jefe Fundición	1
Asistente Fundición	1
Jefe de turno	3
Especialista	3
Operador montacarga/consola	3
Corte sierra loma	3
Ayudante general	1
Total	15

**Fuente:** Elaborado por: Autor.

#### 3.2. Beneficiarios indirectos

Toda la planta Cedal Latacunga.

### 4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La toma de decisiones es un tema que afecta directamente al rendimiento de una empresa determinando su éxito o su fracaso, por esta situación se procede a realizar estudios de carácter analítico que proporcionen la información adecuada con el fin de incrementar el grado de certeza en una decisión evitando en lo máximo posible la aleatoriedad, brindando consecuentemente resultados positivos y de utilidad para la empresa.

Toda industria requiere un proceso de mejora continua y la industria del aluminio no es la excepción en vista de que se encuentra arraigada a varios sectores de producción se ve en la obligación de buscar las herramientas adecuadas que incrementen el indicador “productividad” sin elevar sus costos de manera excesiva; en el caso de la planta de fundición como no puede ser de otra manera se debe llevar un control estricto de las actividades y recursos que son parte

del proceso productivo ya que en sí mismo dicho proceso es de carácter crítico por las variables que en él se manifiestan.

Partiendo de la premisa que todo puede mejorar; en la planta industrial de fundición Cedal S.A. existen varios aspectos que marcan un claro decremento en la eficiencia de esta planta como paros de producción no planificados, el porcentaje de rechazos debido a inconformidades con el producto, falta de atención en las restricciones del sistema de producción y la variación del inventario; todo esto afectando a la productividad de la organización, además de la relación con los clientes directos de esta planta.

## **5. OBJETIVOS:**

### **5.1. General**

- Mejorar el proceso productivo de la planta de fundición Cedal S.A. a través del análisis y simulación de actividades con el fin de maximizar la tasa de producción.

### **5.2. Específicos**

- Identificar los procesos que se realizan en la planta de fundición mediante observación y recopilación de datos para el posterior análisis de la situación actual.
- Realizar un modelo de simulación en el software ProModel a través de la información obtenida para la determinación de problemas en el flujo de producción.
- Plantear una propuesta aplicable para la mejora del flujo de procesos mediante la simulación y aplicación de metodologías de optimización con el fin de incrementar la tasa de producción.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2** Cuadro de actividades de la investigación.

Objetivo	Actividad	Resultados de la actividad	Medios de verificación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar los procesos que se realizan en la planta de fundición mediante observación y recopilación de datos para el posterior análisis de la situación actual.</li> </ul>	Observación de procedimientos en el área de fundición de manera secuencial.	Secuencia de procesos identificados.	Descripción de procesos en el área de Fundición
	Levantamiento de información.	Diagramas de procesos del área de fundición. Datos concretos para la simulación	Diagramas de flujo.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar un modelo de simulación en el software ProModel a través de la información obtenida para la determinación de problemas en el flujo de producción.</li> </ul>	Medición de tiempos de los distintos procesos.	Tiempos actuales de operación.	Tabla de lectura de tiempos
	Análisis de consumo en el área de fundición.	Producción Bruta, Neta Rechazos.	Balace de masa.
	Análisis de la variación de los datos.	Distribución estadística de los datos.	Gráficas de distribución
	Simulación de procesos en ProModel.	Modelo de escenarios en el proceso de fundición	Modelo de simulación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Plantear una propuesta aplicable para la mejora del flujo de procesos mediante la simulación y aplicación de metodologías de optimización con el fin de incrementar la tasa de producción.</li> </ul>	Propuesta de mejora	Metodologías aplicables al proceso	Análisis de mejoras propuestas
	Elaboración del nuevo modelo de simulación	Modelo operativo con mejoras aplicadas	Modelo de simulación
	Comparativa situación actual contra propuesta	Optimización de procesos en el área de fundición.	Análisis comparativo

**Fuente:** Elaborado por: Autor.

## 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

### 7.1. Corporación ecuatoriana de aluminio S.A.

En 1974 se constituyó Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. CEDAL, empresa de capital ecuatoriano, con el propósito de fabricar y comercializar extrusiones de aluminio para el mercado nacional e internacional. Inicia sus actividades productivas en el año 1976, enfocados al mercado interno con extrusiones de aluminio para uso arquitectónico.

Posteriormente, se incorporan nuevas técnicas de extrusión, produciendo y comercializando perfiliería de aluminio de uso estructural

**Figura 1** Logotipo de la empresa CEDAL



**Fuente:** (CEDAL, 2019) Disponible en:<http://www.cedal.com.ec/index.php/es>

Con el trabajo perseverante de sus fundadores y colaboradores, inicia en el año de 1979 un nuevo rumbo, que permitió ampliar su trayectoria y expansión con perfiliería de aluminio al mercado colombiano a través de su empresa filial C.I. VITRAL. Se abrieron centros de distribución propios en las ciudades de Bogotá, Cali y cuenta con distribuidores con cobertura nacional. Se han mantenido programas de innovación de nuevos sistemas de ventanería de alta prestación, que ha permitido ampliar la cobertura y uso de la perfiliería de aluminio en el mercado colombiano. En 1992 se constituye el grupo "Corporación Empresarial S.A. CORPESA", holding que agrupa en la actualidad unidades estratégicas de negocio integradas por: CEDAL, ESTRUSA, C.I.VITRAL, TRANSALUMINIO y COLECSIS. En 1996 CEDAL integra a la producción su planta de pintura electrostática ubicada en Latacunga, actualmente mantiene contratos de maquila con empresas especializadas. En 2006, CEDAL diversifica su portafolio de productos, con una oferta complementaria a la perfiliería de aluminio, comercializando vidrio flotado, láminas de aluminio, paneles de aluminio compuesto Vitralbond®, elementos de control climático, puertas automáticas y accesorios de vidrio templado en representación de marcas líderes internacionales.

El aluminio es un material eco amigable y 100% reciclable, que ayuda a cuidar el medio ambiente. Cedal inaugura en abril del 2009 una planta de fundición, que permite utilizar chatarra de aluminio propia y la existente en el mercado ecuatoriano.

En el año 2012 CEDAL realiza la expansión de su capacidad productiva y da inicio a la planificación, organización y ejecución de la inversión en una nueva planta extrusora de aluminio. La fábrica se construyó en las instalaciones que mantiene el grupo en Durán, Provincia del Guayas, dentro de un terreno de 65.000m<sup>2</sup>, creando un centro de distribución a nivel nacional. La empresa cuenta con diferentes tipos de certificaciones tales como: ISO 14001 - 2015, ISO 19001 - 2015, OSHAS 18001. Cedal obtuvo la licencia ambiental No. 235 el 2 de junio de 2013. El 17 de julio del 2014, Cedal Durán entró en operación con la extrusión de su primer perfil en base a los reglamentos de las certificaciones a mención. En marzo del 2017 se apertura la planta de maderado; la cual permite brindar nuevos acabados para la perfilería de aluminio, a través de una opción diferente a la madera para la construcción. En diciembre del 2018 el Ministerio de Industrias y Productividad, mediante Resolución No. 18-389 emitida por la Dirección de Evaluación y Control de la Calidad, otorgó la designación al LABORATORIO DE CALIDAD de CEDAL de Latacunga, para que realice las actividades de ensayo en materiales de aluminio bajo los estándares internacionales de gestión de la norma ISO 17025, convirtiéndonos así en el PRIMER LABORATORIO A NIVEL NACIONAL en alcanzar dicha certificación. (CEDAL, 2019)

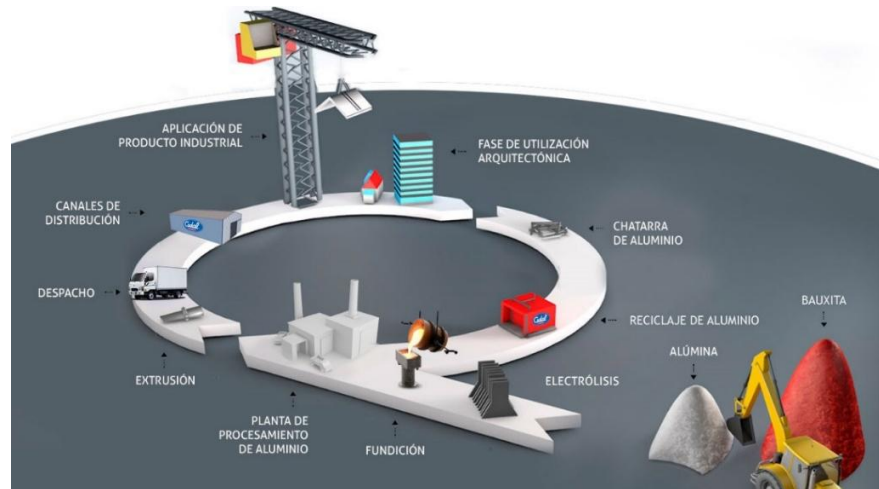
### **7.1.1. Procesos generales planta CEDAL Latacunga**

La fábrica de Latacunga tiene un horno de fundición de doble cámara de operación continua (11.000t/a) dos líneas de extrusión de 7" (11.500t/a), una línea de anodizado, una línea de pintura electrostática horizontal, una planta de tratamiento de descargas líquidas, las fases que intervienen en el proceso productivo se muestran a continuación: (CEDAL, 2019)

### **7.1.2. Fundición**

El aluminio recuperado del proceso de extrusión, su chatarra y perfilería post-instalación, son nuevamente fundidos tal como se muestra en la figura 2, manteniendo las características de la aleación mediante estrictos controles del laboratorio metalúrgico. Ver figura 2

**Figura 2.** Ciclo del aluminio



Fuente: (CEDAL, 2019). Disponible: <http://www.cedal.com.ec/index.php/es/produccion.html>

### 7.1.3. Extrusión

El proceso de extrusión parte de la deformación plástica del aluminio a una temperatura entre 480° y 550°C que por compresión es forzado a pasar a través de la apertura de una matriz, que tiene un diseño específico, que dará la forma designada al perfil de aluminio.

### 7.1.4. Matricería

Se trata del proceso mediante el cual se brinda mantenimiento a las matrices utilizadas en la etapa de extrusión

### 7.1.5. Anodizado

Se brinda una capa de oxido sobre la superficie del perfil de aluminio a través de un proceso electro-químico mismo que puede otorgar varios tonos de color.

### 7.1.6. Pintura electrostática

Mediante pintura en polvo depositada de manera electrostática posteriormente tratada en un horno se otorga una superficie de color uniforme al perfil

### 7.1.7. Empaque

Cedal empaqueta su perfiles en fundas de polietileno, con el fin de evitar que los perfiles sean dañados durante el transporte.

### 7.1.8. Planta de Tratamiento

Cedal cuenta con una planta de tratamiento certificada para descargas líquidas que garantizan el cuidado del medio ambiente (CEDAL, 2019)

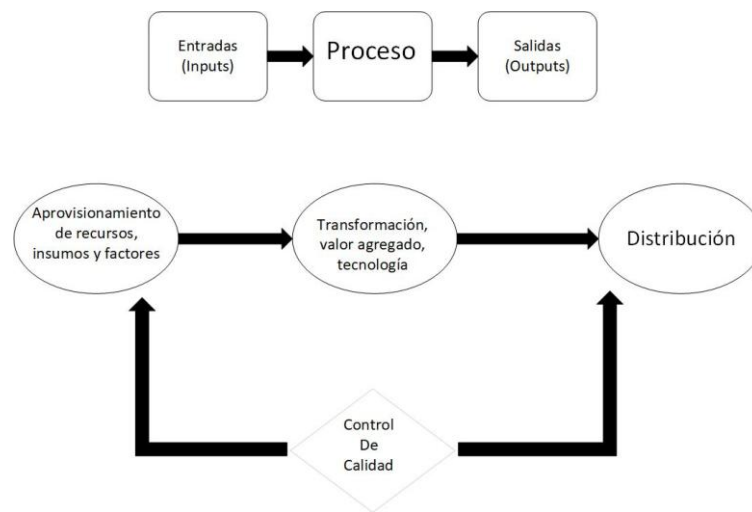


## 7.2. Sistema de producción

Se puede realizar una pequeña definición del proceso productivo como la sucesión de subprocesos para elaborar un determinado producto

La empresa se identifica como un sistema en donde las partes que constituyen su todo son sus departamentos actuando como subsistemas. Se deduce entonces que un sistema de producción se trata de la transformación de las materias primas mediante subprocesos internos de la empresa con el fin de ofrecer un producto terminado para su distribución y venta. (García R. , 2016) Ver figura 3

**Figura 3.** Sistema de producción



**Fuente:** Autor

### 7.2.1. Producción

Salazar argumenta que se trata del proceso con mayor generación de valor en cualquier organización; por lo cual se suele subestimar el alcance de los sistemas productivos debido a varios factores como: la innovación, la optimización de flujos logísticos y la implementación de nuevos sistemas de información. Sin embargo, los sistemas de producción resultan ser susceptibles a la optimización en cuanto a innovación flexibilidad calidad y costo, siendo compatible con las nuevas tendencias orientadas al cliente exigente. (Salazar, 2016)

### 7.2.2. Recursos de un sistema productivo

Los sistemas productivos cuentan con la participación de múltiples actores, todos ellos sin importar la naturaleza de las organizaciones a las que pertenezcan son susceptibles de la toma de decisiones en aras de aumentar la eficiencia de los procesos, por ende, la productividad

depende de la optimización de los mismos, lógicamente dependiendo del contexto competitivo de las organizaciones. (Salazar, 2016)

Insumos (Inputs) 5M's + 1i

- Materiales
- Maquinas
- Mano de obra
- Medio ambiente
- Información

Estos insumos ingresan al sistema convergen en procesos definidos y se transforman en productos o servicios.

- Productos / Servicios
- Calidad
- Costos
- Tiempos de respuesta
- Seguridad
- Impacto en los colaboradores
- Impacto en el medio ambiente

### **7.2.3. Productividad**

Por lo general la productividad se mide en unidades producidas sobre unidad de tiempo, no obstante, al producir más unidades puede que la meta no se cumpla, es decir el exceso de producción podría no venderse y ser simplemente dinero estancado o aún peor volverse obsoleto. Existen señales con las cuales identificar el aumento de la productividad como:

- Aumento de producción
- Reducción de inventarios
- Reducción de gastos operativos

En otras palabras.

(Jacobs, 2011) "La productividad consiste en todas las acciones que acercan a una compañía a su meta."

### 7.2.4 Importancia de la productividad

La única forma en que un negocio o empresa puede crecer e incrementar sus ganancias es mediante el aumento de su productividad. Las herramientas fundamentales que generan una mejora en la productividad incluyen métodos, estudio de tiempos estándares (a menudo conocidos como medición del trabajo) y el diseño del trabajo. Doce por ciento de los costos totales en que incurre una empresa fabricante de productos metálicos está representado por trabajo directo, 45% por materia prima y 43% por gastos generales. Todos los aspectos de una industria o negocio; ventas, finanzas, producción, ingeniería, costos, mantenimiento y administración, ofrecen áreas fértiles para la aplicación de métodos, estándares y diseño del trabajo. (W.Niebel & Freivalds, 2015)

### 7.2.5. Aspectos importantes de la productividad

A continuación, se detalla los aspectos importantes de la productividad según (Jiménez & Castro, 2015).

- Calidad: La calidad es la velocidad a la cual los bienes y servicios se producen especialmente por unidad de labor o trabajo.
- Productividad = Salida/ Entradas.
- Entradas: Mano de Obra, Materia prima, Maquinaria, Energía, Capital.
- Salidas: Productos.
- Misma entrada, salida más grande.
- Entrada más pequeña misma salida.
- Incrementar salida disminuir entrada.
- Incrementar salida más rápido que la entrada.
- Disminuir la salida en forma menor que la entrada.

### 7.2.6. Formula de la productividad:

**Ecuación 1** Formula de la productividad para empresas de manufactura.

$$\text{productividad} = \frac{\text{Número de unidades producidas}}{\text{Insumos empleados}}$$

**Fuente:** (Jiménez & Castro, 2015, pág. 7)

Este modelo se aplica muy bien a una empresa manufacturera, taller o que fabrique un conjunto homogéneo de productos. Sin embargo, muchas empresas modernas manufacturan una gran variedad de producto Estas últimas son heterogéneas tanto en valor como en volumen de

producción a su complejidad tecnológica puede presentar grandes diferencias. En estas empresas la productividad global se mide basándose en un número definido de " centros de utilidades "que representan en forma adecuada la actividad real de la empresa. (Jiménez & Castro, 2015).Ver ecuación 1 y 2

**Ecuación 2** Productividad global para productos heterogénea en empresas de manufactura.

$$\text{Productividad global} = \frac{\text{Producción (a)} + \text{Producción (b)} + \text{Producción (n)}}{\text{Insumos empleados}}$$

**Fuente:** (Jiménez & Castro, 2015, pág. 7)

### 7.3. La meta de una empresa

La meta de una empresa es ganar dinero, si una organización tiene muchos propósitos (como abrir fuentes de empleo, consumir materias primas, aumentar las ventas, incrementar la participación en el mercado, desarrollar tecnología o elaborar productos de calidad), no garantizan la supervivencia de la empresa a la larga. (Goldratt, 2018)

### 7.4. Capacidad efectiva

La tasa de capacidad efectiva se refiere a la cantidad de producto que puede ser teóricamente producido durante un período de tiempo, es decir este valor muestra la capacidad máxima de una planta en óptimas condiciones sin interrupción, vacaciones, fines de semana, etc. La capacidad efectiva viene a mostrarse teóricamente enlazada en conjunto con la capacidad instalada de planta, ese puede determinar de dos formas esta capacidad. (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017)

- Forma teórica de los históricos más altos en un día de producción sin contar las interrupciones.
- De ser una planta nueva se puede determinar mediante los valores de fabricación de cada una de las máquinas del proceso de producción.

### 7.5 Capacidad Real

(García A. , García, Marta, Sanchez, & Ana, 2015)”Representa la cantidad real de producto por periodo de tiempo”. Ver ecuación 3

**Ecuación 3** Fórmula para calcular la capacidad real.

$$C_{real} = \frac{\text{Capacidad disponible} - \text{tiempo act. aux.} - \text{tiempos improd.}}{\text{Tiempo de fabricación por unidad}}$$

**Fuente** (García A. , García, Marta, Sanchez, & Ana, 2015, pág. 70)

## 7.6. Tasa de utilización de la capacidad

La capacidad utilizada muestra el índice porcentual de la capacidad con la que se encuentra trabajando dicha máquina para lo que se ejecuta la relación entre la capacidad efectiva o instalada. (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017) Ver ecuación 4

**Ecuación 4** Tasa de utilización de la capacidad

$$U = \frac{\text{Capacidad real}}{\text{Capacidad de diseño}} * 100$$

**Fuente** (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017, pág. 35)

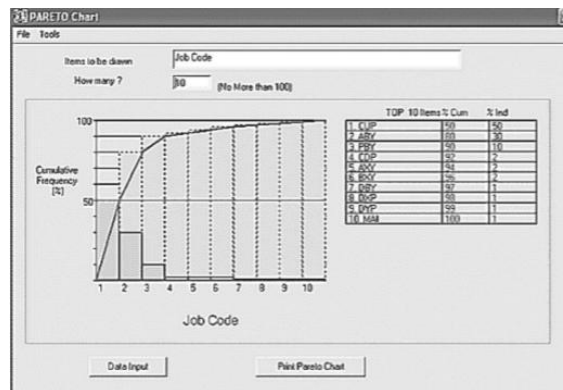
## 7.7. Diagramas

Es factible la presentación de resultados como paso posterior al levantamiento de procesos ya que de esta manera se puede ampliar y precisar de forma óptima el funcionamiento u organización de la empresa.

### 7.7.1. Diagrama de Pareto

En el análisis de Pareto, los artículos de interés son identificados y medidos con una misma escala y luego se ordenan en orden descendente, como una distribución acumulativa. Por lo general, 20% de los artículos evaluados representan 80% o más de la actividad total; como consecuencia, esta técnica a menudo se conoce como la regla 80-20. Ver figura 4

**Figura 4.** Diagrama Pareto



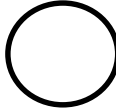
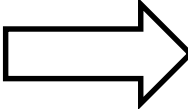




**Fuente:** (W.Niebel & Freivalds, 2015)

### 7.7.2. Diagrama de procesos

Es una herramienta de análisis es una representación gráfica de los pasos que se siguen en una secuencia de actividades que constituyen un proceso o un procedimiento, identificándolos mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza: incluye toda la información que se considera necesaria para el análisis, tal como distancias recorridas, cantidad considerada y tiempo requerido. (García R. , 2016).

Para analizar de mejor manera cualquier proceso productivo, estos se determinan bajo los términos de operaciones, transportes, inspecciones, retraso o demoras, almacenajes.

**Tabla 3.** Acciones que tiene lugar durante el proceso dado.

Actividad	Definición	Símbolo
Operación:	Ocurre cuando se modifican las características de un objeto, o se le agrega algo o se le prepara otra operación.	
Transporte:	Ocurre cuando un objeto es movido de un lugar a otro, excepto cuando tales movimientos forman parte de una operación o inspección	
Inspección:	Ocurre cuando un objeto o un grupo de ellos son examinados para su identificación o para comprobar y verificar la calidad o cualquiera de sus características.	
Demora:	Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos, con lo cual se retarda el siguiente plazo planeado.	
Almacenaje:	Ocurre cuando un objeto o un grupo de ellos son retenidos y protegidos contra movimientos o usos no autorizados.	
Actividad combinada:	Se presenta cuando se desea indicar actividades conjuntas por el mismo operador en el mismo punto de trabajo.	

Fuente: (García R. , 2016, pág. 49)

### 7.7.3. Cursograma analítico

El cursograma analítico es un diagrama que muestra la trayectoria de un procedimiento señalando a todos los hechos sujetos a examen mediante el símbolo que corresponda, se establece de forma análoga el sinóptico, además de los símbolos de operación e inspección, los de transporte, espera y almacenamiento. (W.Niebel & Freivalds, 2015) Ver figura 5

Figura 5. Cursograma analítico

Ubicación: Dorben Ad Agency		Resumen			
Actividad: Preparación de anuncios por correo directo		Evento	Presente	Propuesto	Ahorros
Fecha 1-26-98		Operación	4		
Operador: J.S.      Analista: A. E.		Transporte	4		
Encierra en un círculo el método y tipo apropiados		Retrasos	4		
Método: <u>Presente</u> Propuesto		Inspección	0		
Tipo: <u>Trabajador</u> Material    Máquina		Almacenamiento	2		
Comentarios:		Tiempo (min)			
		Distancia (pies)	340		
		Costo			
Descripción de los eventos		Símbolo	Tiempo (en minutos)	Distancia (en pies)	Recomendaciones al método
Cuarto con la existencia de materiales	○ ○ D □ ●				
Hacia el cuarto de recepción	○ ● D □ ▼			100	
Ordenar los estantes por tipo	○ ○ D □ ▼				
Ordenar cuatro hojas	● ○ D □ ▼				
Apillar	○ ○ ● □ ▼				
Hacia el cuarto de doblado	○ ● D □ ▼			20	
Empujar, doblar, rayar	● ○ D □ ▼				
Apillar	○ ○ ● □ ▼				
Colocar la engrapadora	○ ● D □ ▼			20	
Poner la grapa	● ○ D □ ▼				
Apillar	○ ○ ● □ ▼				
Hacia el cuarto del correo	○ ● D □ ▼			200	
Colocar la dirección	● ○ D □ ▼				
A la bolsa del correo	○ ○ D □ ●				
	○ ○ D □ ▼				
	○ ○ D □ ▼				
	○ ○ D □ ▼				
	○ ○ D □ ▼				
	○ ○ D □ ▼				

Fuente: (W.Niebel & Freivalds, 2015)

### 7.7.4. Gráfica de control

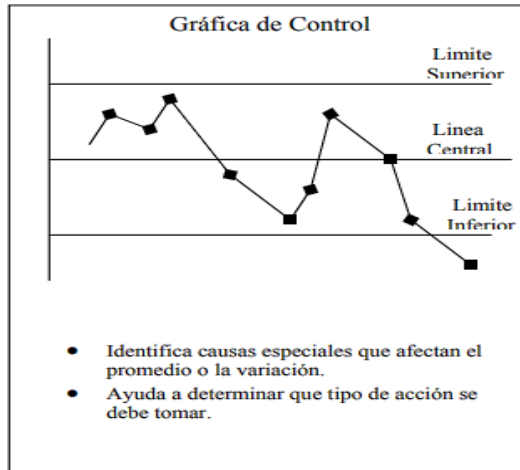
Es una herramienta gráfica que mide la trayectoria de una variable a través del tiempo, considerando rangos de aceptación máximos y mínimos respecto de la variable controlada. Se aplica para mantener el proceso de acuerdo con un valor medio y los límites superior e inferior. (Jara, 2018)

Límite superior de control (LSC): Es el mayor valor aceptado en el proceso.

Límite inferior de control (LIC): Es el valor más pequeño que se acepta en el proceso.

Límite central de control (LC): Es la línea central del gráfico. Mientras más cerca esté los puntos a la línea, más estable es el proceso. Ver figura 6

**Figura 6.** Gráfica de control

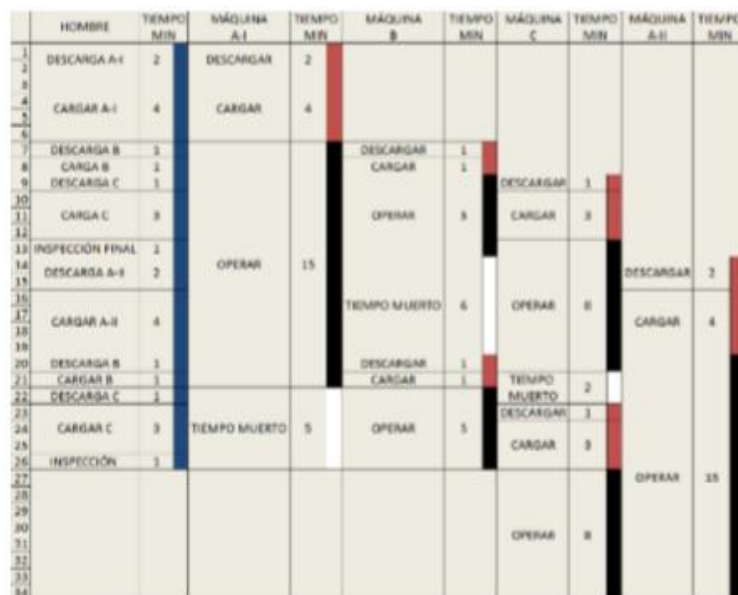


**Fuente:** (Lopez, 2001). Manual six-sigma. Disponible: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40008517/six-sigma\\_CALIDAD\\_INDUSTRIAL.pdf?response-content-](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40008517/six-sigma_CALIDAD_INDUSTRIAL.pdf?response-content-)

### 7.7.5. Diagrama Hombre Máquina

Es la Representación gráfica de la secuencia de elementos de elementos que componen las operaciones en que intervine hombre y máquinas, que permite conocer el tiempo empleado por cada uno, es decir, conocer el tiempo usado por los hombres y el utilizado por las máquinas. Ver figura 7

**Figura 7.** Gráfica Hombre-Máquina



**Fuente:** (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017)



## 7.8. Estudio de Tiempos

### 7.8.1. Fórmulas para obtener el tiempo tipo o estándar

**Tiempo estándar (Te):** Se obtiene adicionándole un porcentaje de tolerancias. Ver ecuación 5

**Ecuación 5.** Tiempo estándar.

$$Te = Tp * Fc * (1 + S)$$

**Fuente:** (Heizer & Render, 2009, pág. 414)

**Tiempo observado promedio (Tp):** Es la media aritmética de los tiempos para cada elemento medido, ajustada para la influencia inusual en cada elemento: Ver ecuación 6

**Ecuación 6.** Tiempo observado promedio.

$$Tp = \frac{\text{(suma de los tiempos registrados para realizar cada elemento)}}{\text{numero de observaciones}}$$

**Fuente:** (Heizer & Render, 2009, pág. 414)

**Tiempo normal (TN):** Es el tiempo observado promedio (Tp) ajustado a un paso o multiplicado por el factor de calificación de desempeño (Fc). Ver ecuación 7

**Ecuación 7.** Tiempo normal.

$$TN = (Tp) * (Fc)$$

**Fuente:** (Heizer & Render, 2009, pág. 414)

### 7.8.2. Factor de calificación de desempeño (Fc)

Llamado también el esfuerzo que realiza el operador representado en porcentaje, por lo general se representa un valor que va desde el 50% al 150% y si en el caso el operario realiza el trabajo con una velocidad considerada se califica con el 100%, de igual manera si lo hizo más lento con 95%, 90%, 85%, 80%. (Heizer & Render, 2009)

### 7.8.3. Suplementos (S)

Son aquellos que el operario necesita para hacer algunas pausas para recuperarse de la fatiga y atender sus necesidades personales, como para fatiga de (5%-10%), necesidades personales de (5%-15%). Así como también tenemos el rango general que está de (15%-40%) y el más usado está (20%-25%). (Heizer & Render, 2009)

#### 7.8.4. Valoración del ritmo de trabajo

La valoración del ritmo de trabajo proporciona porcentajes de modificación a los datos levantados, capaz de regular a un valor a un dato confiable y apropiado para el operario una de las tablas usadas Westinghouse, considerando cuatro factores importantes tales como, la habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia, como a continuación se muestra. Ver figura 8

- La habilidad se define como el aprovechamiento al seguir un método dado, el observador debe de evaluar y calificar dentro de seis clases la habilidad desplegada por el operario: habilísimo, excelente, bueno, medio, regular y malo. Luego, esta clasificación de la habilidad se traduce a su equivalencia porcentual, que va de 15% a -22%.
- El esfuerzo se define como una demostración de la voluntad para trabajar con eficiencia. El esfuerzo es representativo de la velocidad con que se aplica la habilidad y es normalmente controlada en un alto grado por el operario.
- Las condiciones son aquellas circunstancias que afectan solo al operador y no a la operación. Los elementos que pueden afectar las condiciones de trabajo incluyen: temperatura, ventilación, monotonía, alumbrado, ruido, etc.
- La consistencia es el grado de variación en los tiempos transcurridos, mínimos y máximos, en relación con la media, juzgado con arreglo a la naturaleza de las operaciones y a la habilidad y esfuerzo del operador. (Salazar, 2016)

**Figura 8.** Valoración del ritmo de trabajo

HABILIDAD		ESFUERZO	
+0.15	A1	+0.13	A1
+0.13	A2 - Habilísimo	+0.12	A2 - Excesivo
+0.11	B1	+0.10	B1
+0.08	B2 - Excelente	+0.08	B2 - Excelente
+0.06	C1	+0.05	C1
+0.03	C2 - Bueno	+0.02	C2 - Bueno
0.00	D - Promedio	0.00	D - Promedio
-0.05	E1	-0.04	E1
-0.10	E2 - Regular	-0.08	E2 - Regular
-0.15	F1	-0.12	F1
-0.22	F2 - Deficiente	-0.17	F2 - Deficiente
CONDICIONES		CONSISTENCIA	
+0.06	A - Ideales	+0.04	A - Perfecto
+0.04	B - Excelentes	+0.03	B - Excelente
+0.02	C - Buenas	+0.01	C - Buena
0.00	D - Promedio	0.00	D - Promedio
-0.03	E - Regulares	-0.02	E - Regular
-0.07	F - Malas	-0.04	F - Deficiente

**Fuente:** (Salazar, 2016)

## **7.9. Indicadores de producción**

### **7.9.1. Throughput**

Se refiere a la tasa de rendimiento del sistema de producción. A nivel empresarial se trata de producción vendida por unidad de tiempo, no obstante, en una cadena de suministro se controla lo producido, es decir se define el rendimiento como la cantidad media de piezas producidas por unidad de tiempo (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017)

### **7.9.2. Tiempo de ciclo (CT)**

El tiempo de ciclo (también llamado tiempo de flujo, tiempo de producción y tiempo de estadía) de una ruta dada es el tiempo promedio desde el lanzamiento de un trabajo al principio de la ruta hasta llegar a un punto de inventario al final de la ruta. También se lo define como el tiempo que transcurre desde que un producto ingresa al sistema hasta que sale (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017)

### **7.9.3. Trabajo en proceso (WIP)**

El inventario entre los puntos inicial y final de la ruta de un producto se llama trabajo en proceso o la cantidad de materias primas y de productos en proceso que se encuentra en el sistema de producción (Inventario en proceso en el sistema). (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017)

### **7.9.4. Ley de Little**

Una de las leyes más prácticas y fundamentales en la teoría de filas de espera es la ley de Little, que relaciona el número de clientes en un sistema de filas de espera con el tiempo de espera de los clientes. La ley de Little muestra que hay una relación estrecha entre el Throughput (TH), el tiempo de ciclo (CT) y el trabajo en proceso (WIP), definida por la Ecuación que se presenta a continuación, en la cual se observa cuanto más largo sea el tiempo de ciclo, menor será el Throughput con nivel de inventario constante, es decir el Throughput es directamente proporcional al trabajo en proceso. Ver ecuación 8

**Ecuación 8** Calcula el tiempo de ciclo y trabajo en proceso

$$TH=WIP/CT$$

**Fuente** (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017, pág. 25)

## **7.10. Teoría de las restricciones**

Goldratt argumenta que si bien una organización tiene muchos propósitos (como abrir fuentes de empleo, consumir materias primas, aumentar las ventas, incrementar la participación en el mercado, desarrollar tecnología o elaborar productos de calidad), no garantizan la supervivencia de la empresa a la larga. Son medios para alcanzar la meta, no la meta en sí. Si la empresa gana dinero, y sólo si gana dinero, prospera. Cuando una empresa tiene dinero, puede recalcar más otros objetivos. (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017)

### **7.10.1. Mediciones Financieras**

(Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017) "Hay tres medidas de la capacidad de la empresa para ganar dinero":

- Utilidades netas: Medida absoluta en unidades monetarias.
- Rendimiento sobre la inversión: Medida relativa basada en la inversión.
- Liquidez: Medida de supervivencia.

### **7.10.2. Mediciones operativas**

(Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017) "Las medidas financieras funcionan bien en el nivel superior, pero no sirven en el nivel operativo. Se necesitan otras medidas que guíen":

- Producción: Ritmo al que el sistema genera dinero por medio de las ventas.
- Inventario: Todo el dinero que el sistema invirtió en comprar lo que pretende vender
- Gastos operativos: Todo el dinero que el sistema gasta para convertir el inventario en producto.

### **7.10.3. Cuello de Botella**

Se define como cualquier recurso cuya capacidad sea menor que su demanda. Un cuello de botella es una restricción en el sistema que limita la producción. En el proceso de manufactura, es el punto donde el caudal se adelgaza hasta ser una corriente flaca. Un cuello de botella puede ser una máquina, falta de trabajadores capacitados o una herramienta especial. En las observaciones de la industria se ha visto que la mayoría de las plantas tienen muy pocas operaciones con cuellos de botella. Si no hay cuellos de botella, sobra capacidad y es preciso cambiar el sistema para generar un cuello de botella. (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017)

#### **7.10.4. Recurso restringido por la capacidad (Capacity-Constrained Resource, CCR)**

Es aquel cuya utilización está cerca de la capacidad y podría ser un cuello de botella, si no se programa con cuidado. Por ejemplo, un CCR podría recibir trabajo de varias fuentes en un entorno de planta fabril. Si estas fuentes programan su ritmo de manera que se genere tiempo ocioso ocasional para el CCR que supere su capacidad sin usar, el CCR se convierte en cuello de botella cuando el volumen del trabajo llega más tarde. Esto ocurre si se cambia el tamaño de los lotes o si alguna de las operaciones anteriores no funciona por cualquier motivo y no envía suficiente trabajo al CCR. (Chase, Jacobs, & Nicholas, 2017)

#### **7.10.5. Componentes del Tiempo**

- Tiempo de preparación: Tiempo que espera una pieza a que se prepare un recurso para trabajarla.
- Tiempo de procesamiento: Tiempo en que se procesa la pieza.
- Tiempo de cola: El tiempo que una pieza espera un recurso mientras éste se encuentra ocupado en otra cosa.
- Tiempo de espera: Tiempo que espera una pieza no por un recurso, sino por otra pieza con la que va a armarse.
- Tiempo ocioso: Tiempo sin utilizar, es decir, el tiempo del ciclo menos los tiempos de preparación, procesamiento, cola y espera

#### **7.10.6. Sistema tambor-amortiguador-cuerda**

El sistema Tambor-Amortiguador-Cuerda (Drum Buffer Rope) es un sistema de planificación y control que regula el flujo de los materiales del trabajo en proceso, en el cuello de botella o el recurso con capacidad restringida en un sistema productivo. El proceso que tiene la capacidad más reducida se llama cuello de botella si su producción es menor que la demanda del mercado, o se denomina CCR si es el recurso menos capaz en el sistema, pero que, a pesar de eso, su capacidad es más alta que la demanda del mercado. (Krajewsky, Ritzman, & Manoj, 2008)

Todo Sistema de producción necesita uno o varios puntos de control, si en un sistema se encuentra un cuello de botella, ahí está el mejor lugar para aplicar un punto de control. Es un

método de planificación de la producción que se ha ido desarrollando y ha aumentado su aplicación con el pasar del tiempo. (Reyes, Alvarez, & Vasquez, 2016)

El sistema DBR comprende de cinco pasos clave para la ejecución del método:

- Identificar el cuello de botella. - Recurso cuya capacidad es igual o menor a la demanda.
- Explotar el cuello de botella. – Sacar el mayor provecho de la restricción sin ninguna inversión adicional, abastecer al mercado como único propósito de alcanzar mayores ventas. 3. Subordinar todo a la decisión anterior. – Disponer del cuello de botella como el tambor del proceso, provocando que los otros recursos que no son considerados como cuello de botella trabajen acorde al recurso restringido de capacidad.
- Elevar la capacidad del cuello de botella. – Una de las formas más eficientes para elevar la capacidad del cuello de botella se puede destacar como realizar un mantenimiento preventivo, con la finalidad de controlar que la máquina falle durante el proceso de producción, mantener los estándares de calidad y control de la materia prima para evitar producto defectuoso, reproceso, etc.
- Volver al paso 1. – Mediante este paso lo que se busca es el mejoramiento continuo ya que esa es la razón de ser para verificar el control y posibles nuevas restricciones. (Goldratt, 2018)

#### **7.10.7. Funcionamiento DBR (Drum -Buffer – Rope)**

- El programa del CCR es el tambor porque marca el ritmo o la tasa de producción de toda la planta y está vinculado a la demanda del mercado.
- El amortiguador es una barrera de tiempo que planea flujos tempranos hacia el CCR y así lo protege contra interrupciones. También garantiza que el cuello de botella nunca se quede sin trabajo. También se puede colocar un amortiguador en el inventario de bienes terminados, delante del punto de embarque, para proteger los programas de envíos a los clientes.
- Por último, la cuerda representa la relación de la entrega de materiales con el ritmo del tambor, que es la tasa a la que el cuello de botella o el CCR controlan el rendimiento de toda la planta. Es un dispositivo de comunicación para asegurar que las materias primas no entren en el sistema a una velocidad mayor de la que puede manejar el CCR.

Para completar el ciclo, la administración de amortiguadores monitorea constantemente la ejecución del trabajo que entra en el CCR. Trabajando en conjunto, el tambor, el amortiguador y la cuerda pueden ayudar a los gerentes a crear un programa de producción que reduzca los tiempos de espera y los inventarios, y que, simultáneamente, aumente el rendimiento y las entregas puntuales.

## 7.11. Simulación

En años recientes, la implementación de nuevos y mejores desarrollos en el área informática ha traído consigo innovaciones igualmente importantes en la toma de decisiones y el diseño de procesos y productos. En este sentido, una de las técnicas de mayor impacto es la simulación. La creación de nuevos y mejores desarrollos en el área de la computación ha traído consigo innovaciones muy importantes tanto en la toma de decisiones como en el diseño de procesos y productos. Una de las técnicas para realizar estudios piloto, con resultados rápidos y a un relativo bajo costo, se basa en la modelación (García, García, & Leopoldo, 2016)

### 7.11.1. Simulación de eventos discretos

(García, García, & Leopoldo, 2016) Consiste en relacionar los diferentes eventos que pueden cambiar el estado de un sistema bajo estudio por medio de distribuciones de probabilidad y condiciones lógicas del problema que se esté analizando.

### 7.11.2. La definición básica de sistema

Se trata de un conjunto de elementos que se interrelacionan para funcionar como un todo; desde el punto de vista de la simulación, tales elementos deben tener una frontera clara. Por ejemplo, se puede hablar del sistema de atención a clientes en un banco, del sistema de inventarios de una empresa, o del sistema de atención en la sala de emergencia de un hospital. Cada uno puede dividirse en elementos que son relevantes para la construcción de lo que será su modelo de simulación; entre ellos se encuentran **entidades, estado del sistema, eventos actuales y futuros, localizaciones, recursos, atributos, variables, y el reloj de la simulación.** (García, García, & Leopoldo, 2016)

**7.11.2.1. Una entidad** por lo general es la representación de los flujos de entrada y salida en un sistema; al entrar a un sistema una entidad es el elemento responsable de que el estado del sistema cambie. Ejemplos de entidades pueden ser; los clientes que llegan a la caja de un banco, las piezas que llegan a un proceso, o el embarque de piezas que llega a un inventario.

**7.11.2.2. El estado del sistema** es la condición que guarda el sistema bajo estudio en un momento de tiempo determinado; es como una fotografía de lo que está pasando en el sistema en cierto instante. El estado del sistema se compone de variables o características de operación puntuales y de variables o características de operación acumuladas, o promedio (como podría ser el tiempo promedio de permanencia de una entidad en el sistema, en una fila, almacén o equipo). (García, García, & Leopoldo, 2016)

**7.11.2.3. Un evento** es un cambio en el estado actual del sistema; por ejemplo, la entrada o salida de una entidad, la finalización de un proceso en un equipo, la interrupción o reactivación de una operación, o la descompostura de una máquina. Se puede catalogar estos eventos en dos tipos: **eventos actuales**, aquellos que están sucediendo en el sistema en un momento dado, y **eventos futuros**, cambios que se presentarán en el sistema después del tiempo de simulación, de acuerdo con una programación específica. Por ejemplo, cierta pieza entra a una máquina para que ésta realice un proceso. El evento actual sería precisamente que la entidad llamada "pieza" se encuentra en la máquina. El evento futuro podría ser el momento en que la máquina concluirá su trabajo con la pieza y ésta seguirá su camino hacia el siguiente proceso lógico, de acuerdo con la programación: almacenamiento, inspección o entrada a otra máquina. (García, García, & Leopoldo, 2016)

**7.11.2.4. Las localizaciones** son todos aquellos lugares en los que la pieza puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo. Dentro de estas localizaciones se pueden considerar almacenes, bandas transportadoras, máquinas, estaciones de inspección, etcétera. En términos de simulación algunos paquetes permiten la animación de lo que se programó. En estos paquetes la representación iconográfica es sólo para aspectos visuales y no le resta o agrega potencia al modelo. (García, García, & Leopoldo, 2016)

**7.11.2.5. Los recursos** son aquellos dispositivos (diferentes a las localizaciones) necesarios para llevar a cabo una operación. Por ejemplo, un montacargas que transporta una pieza de un lugar a otro: una persona que realiza la inspección en una estación y toma turnos para descansar; una herramienta necesaria para realizar un proceso pero que no forma parte de una localización específica, sino que es trasladada de acuerdo con los requerimientos de aquel. (García, García, & Leopoldo, 2016)



**7.11.2.6. Un atributo** es una característica de una entidad. Por ejemplo, si la entidad es un motor, los atributos serían su color, peso, tamaño o cilindraje. Los atributos son muy útiles para diferenciar entidades sin necesidad de generar una nueva, y pueden adjudicarse al momento de la creación de la entidad, o asignarse y/o cambiarse durante el proceso. (García, García, & Leopoldo, 2016)

**7.11.2.7. Las variables** son condiciones cuyos valores se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas. Pueden ser continuas (por ejemplo, el costo promedio de operación de un sistema) o discretas (como el número de unidades que deberá envasarse en un contenedor). Las variables son muy útiles para realizar conteos de piezas y ciclos de operación, así como para determinar características de operación del sistema. (García, García, & Leopoldo, 2016)

**7.11.2.8. El reloj de la simulación** es el contador de tiempo de la simulación, y su función consiste

en responder preguntas tales como cuánto tiempo se ha utilizado el modelo en la simulación, y cuánto tiempo en total se quiere que dure esta última. Podemos hablar de dos tipos de reloj de simulación: **el reloj de simulación absoluto**, que parte de cero y termina en un tiempo total de simulación definido, y el reloj de simulación relativo, que sólo considera el lapso que transcurre entre dos eventos. Por ejemplo, el tiempo de proceso de una pieza es relativo, mientras que el absoluto sería el tiempo global de la simulación: desde que la pieza entró a ser procesada hasta el momento en el que terminó su proceso. (García, García, & Leopoldo, 2016)

### **7.11.3. Ventajas y desventajas de la simulación**

#### **7.11.3.1. Ventajas**

- Es muy buena herramienta para conocer el impacto de los cambios en los procesos, sin necesidad de llevarlos a cabo en la realidad.
- Mejora el conocimiento del proceso actual ya que permite que el analista vea cómo se comporta el modelo generado bajo diferentes escenarios.
- Puede utilizarse como medio de capacitación para la toma de decisiones.
- Es más económico realizar un estudio de simulación que hacer muchos cambios en los procesos reales.

- Permite probar varios escenarios en busca de las mejores condiciones de trabajo de los procesos que se simulan.
- En problemas de gran complejidad, la simulación permite generar una buena solución.
- En la actualidad los paquetes de software para simulación tienden a ser más sencillos, lo que facilita su aplicación.
- Gracias a las herramientas de animación que forman parte de muchos de esos paquetes es posible ver cómo se comportará un proceso una vez que sea mejorado. (García, García, & Leopoldo, 2016)

### **7.11.3.2 Desventajas**

- Aunque muchos paquetes de software permiten obtener el mejor escenario a partir de una combinación de variaciones posibles, la simulación no es una herramienta de optimización.
- La simulación puede ser costosa cuando se quiere emplearla en problemas relativamente sencillos de resolver, en lugar de utilizar soluciones analíticas que se han desarrollado de manera específica para ese tipo de casos.
- Se requiere bastante tiempo para realizar un buen estudio de simulación; por desgracia, no todos los analistas tienen la disposición de esperar ese tiempo para obtener una respuesta.
- Es preciso que el analista domine el uso del paquete de simulación y que tenga sólidos conocimientos de estadística para interpretar los resultados.
- En algunas ocasiones el cliente puede tener falsas expectativas de la herramienta de simulación, a tal grado que le asocia condiciones similares a un video juego o a una bola de cristal que le permite predecir con exactitud el futuro. (García, García, & Leopoldo, 2016)

### **7.11.4. Pasos para realizar un estudio de simulación**

#### **7.11.4.1. Definición del sistema bajo estudio.**

En esta etapa es necesario conocer el sistema a modelar. Para ello se requiere saber qué origina el estudio de simulación y establecer los supuestos del modelo: es conveniente definir con claridad las variables de decisión del modelo, determinar las interacciones entre éstas, y establecer con precisión los alcances y limitaciones que aquel podría llegar a tener. Antes de

concluir este paso es recomendable contar con la información suficiente para lograr establecer un modelo conceptual o un mapa mental del sistema bajo estudio, el cual debe incluir sus fronteras y todos los elementos que lo componen, además de las interacciones entre ellos, los flujos de productos, las personas y los recursos, así como las variables de mayor interés para el problema. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.11.4.2. Generación del modelo de simulación base.**

Una vez que se ha definido el sistema en términos de un modelo conceptual, la siguiente etapa del estudio consiste en la generación de un modelo de simulación base. No es preciso que este modelo sea demasiado detallado, pues se requiere mucha más información estadística sobre el comportamiento de las variables de decisión del sistema. La generación de este modelo es el primer reto para el programador de la simulación, ya que debe traducir a un lenguaje de simulación la información que se obtuvo en la etapa de definición del sistema, e incluir las interrelaciones de todos los posibles subsistemas que existan en el problema a modelar. En caso de que se requiera una animación, éste también es un buen momento para definir qué gráfico puede representar mejor el sistema que se modela. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.11.4.3. Recolección y análisis de datos.**

Es posible comenzar la recopilación de la información estadística de las variables aleatorias del modelo de manera paralela a la generación del modelo base. En esta etapa se debe establecer qué información es útil para la determinación de las distribuciones de probabilidad asociadas a cada una de las variables aleatorias necesarias para la simulación. Aunque en algunos casos se logra contar con datos estadísticos, suele suceder que el formato de almacenamiento o de generación de reportes no es el apropiado para facilitar el estudio. Por ello, es muy importante dedicar el tiempo suficiente a esta actividad. De no contar con la información requerida o en caso de desconfiar de la disponible, será necesario realizar un estudio estadístico del comportamiento de la variable que se desea identificar, para luego incluirla en el modelo. Más adelante se hará el análisis de los datos indispensables para asociar una distribución de probabilidad a una variable aleatoria, así como las pruebas que se le deben aplicar. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.11.4.4. Generación del modelo preliminar**

En esta etapa se integra la información obtenida a partir del análisis de los datos, los supuestos del modelo y todos los datos necesarios para crear un modelo lo más cercano posible a la

realidad del problema bajo estudio. En algunos casos (sobre todo cuando se trata del diseño de un nuevo proceso o esquema de trabajo) no se cuenta con información estadística, por lo que debe estimarse un rango de variación o determinar (con ayuda del cliente) valores constantes que permitan realizar el modelado. Si éste es el caso, el encargado de la simulación puede, con base en su experiencia, realizar algunas sugerencias de distribuciones de probabilidad que comúnmente se asocian al tipo de proceso que se desea incluir en el modelo. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.11.4.5. Verificación del modelo**

Una vez que se han identificado las distribuciones de probabilidad de las variables del modelo y se han implantado los supuestos acordados, es necesario realizar un proceso de verificación de datos para comprobar la propiedad de la programación del modelo, y comprobar que todos los parámetros usados en la simulación funcionen correctamente. Ciertos problemas, en especial aquellos que requieren muchas operaciones de programación o que involucran distribuciones de probabilidad difíciles de programar, pueden ocasionar que el comportamiento del sistema sea muy diferente del que se esperaba. Por otro lado, no se debe descartar la posibilidad de que ocurran errores humanos al alimentar el modelo con la información. Incluso podría darse el caso de que los supuestos iniciales hayan cambiado una o varias veces durante el desarrollo del modelo. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.11.4.6. Validación del modelo**

El proceso de validación del modelo consiste en realizar una serie de pruebas simultáneas con información de entrada real para observar su comportamiento y analizar sus resultados. Si el problema bajo simulación involucra un proceso que se desea mejorar, el modelo debe someterse a prueba con las condiciones actuales de operación, lo que nos dará como resultado un comportamiento similar al que se presenta realmente en nuestro proceso. Por otro lado, si se está diseñando un nuevo proceso la validación resulta más complicada. Una manera de validar el modelo en este caso, consiste en introducir algunos escenarios sugeridos por el cliente y validar que el comportamiento sea congruente con las expectativas que se tienen de acuerdo con la experiencia. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.11.4.7. Generación del modelo final**

Una vez que el modelo se ha validado, el analista está listo para realizar la simulación y estudiar el comportamiento del proceso. En caso de que se desee comparar escenarios diferentes para

un mismo problema, éste será el modelo raíz; en tal situación, el siguiente paso es la definición de los escenarios a analizar. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.11.4.8. Determinación de los escenarios para el análisis**

Tras validar el modelo es necesario acordar con el cliente los escenarios que se quieren analizar. Una manera muy sencilla de determinarlos consiste en utilizar un escenario pesimista, uno optimista y uno intermedio para la variable de respuesta más importante. Sin embargo, es preciso tomar en cuenta que no todas las variables se comportan igual ante los cambios en los distintos escenarios, por lo que tal vez sea necesario que más de una variable de respuesta se analice bajo las perspectivas pesimista, optimista e intermedia. El riesgo de esta situación radica en que el analista podría realizar un diseño de experimentos capaz de generar una gran cantidad de réplicas, lo que redundaría en un incremento considerable de costo, análisis y tiempo de simulación. Es por ello que muchos paquetes de simulación cuentan con herramientas para realizar este proceso, las cuales eliminan la animación y acortan los tiempos de simulación. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.11.4.9. Análisis de sensibilidad**

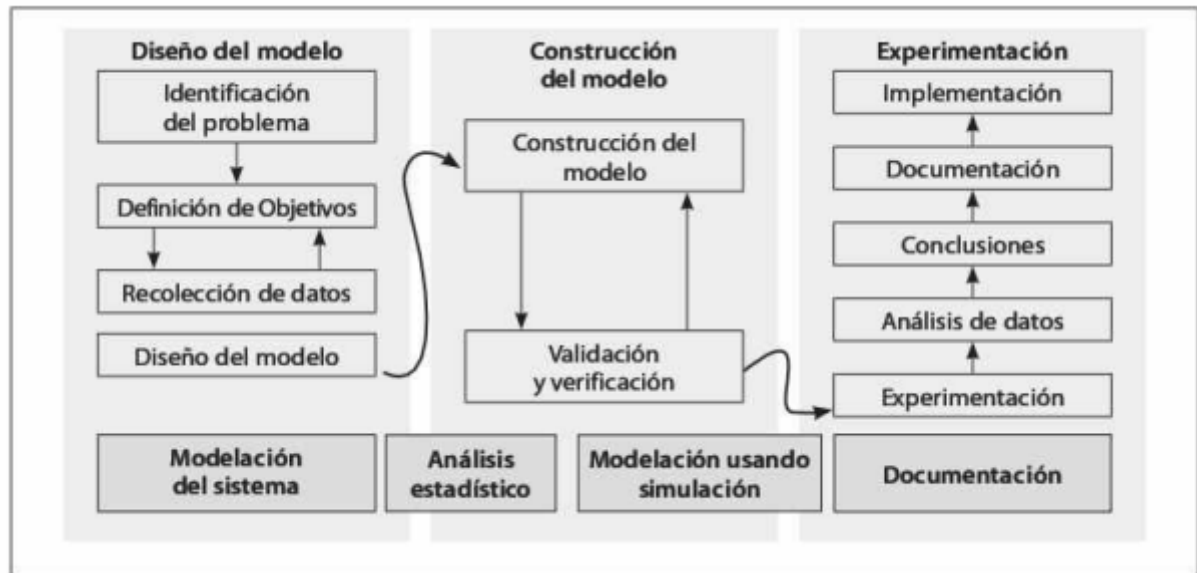
Una vez que se obtienen los resultados de los escenarios es importante realizar pruebas estadísticas que permitan comparar los escenarios con los mejores resultados finales. Si dos de ellos tienen resultados similares será necesario comparar sus intervalos de confianza respecto de la variable de respuesta final. Si no hay intersección de intervalos podremos decir con certeza estadística que los resultados no son iguales; sin embargo, si los intervalos se sobreponen será imposible definir estadísticamente que una solución es mejor que otra. Si se desea obtener un escenario "ganador", será necesario realizar más réplicas de cada modelo y/o incrementar el tiempo de simulación de cada corrida. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.11.4.9.10. Documentación del modelo sugerencias y conclusiones**

Una vez realizado el análisis de los resultados, es necesario efectuar toda la documentación del modelo. Esta documentación es muy importante, pues permitirá el uso del modelo generado en caso de que se requieran ajustes futuros. En ella se deben incluir los supuestos del modelo, las distribuciones asociadas a sus variables, todos sus alcances y limitaciones y, en general, la totalidad de las consideraciones de programación. También es importante incluir sugerencias tanto respecto del uso del modelo como sobre los resultados obtenidos, con el propósito de realizar un reporte más completo. Por último, deberán presentarse las conclusiones del proyecto

de simulación, a partir de las cuales es posible obtener los reportes ejecutivos para la presentación final. (García, García, & Leopoldo, 2016). Ver figura 9

**Figura 9** ProModel Manual



FUENTE (García, García, & Leopoldo, 2016)

## 7.12. Software ProModel

ProModel es un simulador con animación para computadoras personales. Permite simular cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, manejo de materiales, etc. Puedes simular bandas de transporte, grúas viajeras, ensamble, corte, talleres, logística, etc. (Corporation, 2019)

### 7.12.1. Beneficios Clave

A continuación, se detallan los beneficios de usar el software ProModel.

- Único software de simulación con Optimización plenamente integrada
- Creación de modelos rápida, sencilla y flexible.
- Modelos optimizables.
- Elementos de Logística, Manejo de Materiales, y Operaciones incluidas. (Bandas de transporte, Grúas Viajeras, Operadores).
- Entrenamiento en español.
- Resultados probados.
- Importación del Layout de AutoCAD, y cualquier herramienta de CAD / CAE / Diseño, así como de fotografías digitales.
- Soporte Técnico 24 horas al día, 365 días del Año.

- **Integración** a Excel, Lotus, Visual Basic y herramientas de Microsoft.
- Genera en automático las gráficas en 3 dimensiones para visualización en el espacio tridimensional. (Corporation, 2019)

### **7.12.2. Elementos básicos**

En ProModel podemos distinguir una serie de módulos que permiten al analista hacer un estudio más completo sobre el modelo que quiere simular. Cada uno de estos módulos cuenta con herramientas de trabajo que hacen de ProModel uno de los mejores paquetes de simulación que existen en el mercado. (García, García, & Leopoldo, 2016)

### **7.12.3. ProModel**

Es el área de trabajo donde se definirán el modelo y todos sus componentes. En este módulo se programa todo lo que tiene que ver con las relaciones entre las variables del modelo, tanto contadores como relaciones lógicas, flujos, actividades y ciclos de producción. (García, García, & Leopoldo, 2016)

### **7.12.4. Editor gráfico**

El editor gráfico de ProModel cuenta con una serie de bibliotecas que permiten dar una mejor presentación visual a los modelos realizados. Además, cuenta con la capacidad de importar y crear las imágenes necesarias para representar con mayor propiedad el problema a simular. Incluso pueden importarse dibujos hechos con algún software para dicho propósito. (García, García, & Leopoldo, 2016)

### **7.12.5. Resultados**

ProModel cuenta con una interfaz de resultados que facilita la administración, el manejo y el análisis de la información. En este módulo se pueden ver los resultados de todas las variables del modelo. Algunas de ellas se reportan de manera automática, y otras se obtienen bajo solicitud expresa del analista. Además, el módulo permite la interacción con programas de hoja de cálculo, como Excel. (García, García, & Leopoldo, 2016)

### **7.12.6. Stat:Fit**

El software incluye una herramienta estadística llamada Stat:Fit que permite hacer pruebas de bondad de ajuste sobre datos muestra, produciendo información muy importante para

determinar las distribuciones asociadas a las variables aleatorias del modelo. (García, García, & Leopoldo, 2016)

#### **7.12.7. Editor de turnos**

(García, García, & Leopoldo, 2016) "El editor de turnos permite asignar turnos de trabajo a los elementos del modelo que lo requieran, por ejemplo, descansos programados, como el tiempo de comida."

#### **7.12.8. Simrunner**

Esta es una herramienta muy útil en el análisis posterior del modelo. Con ella se pueden diseñar experimentos destinados a conocer el impacto de factores críticos que se generan a partir de la variación en los valores de las variables aleatorias seleccionadas para ello. Asimismo, permite discernir cuál es la mejor combinación de factores para obtener el máximo o beneficio al mejorar un proceso. (García, García, & Leopoldo, 2016)

## **8. HIPÓTESIS**

Si se realiza un análisis mediante modelos de simulación se mejorará el proceso productivo de la planta de fundición Cedal S.A.

### **8.1 V. independiente**

El proceso productivo de la planta de fundición Cedal S.A.

### **8.2 V. dependiente**

El análisis de modelos de simulación

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Tipos de investigación.**

#### **9.1.1. Investigación descriptiva**

La investigación descriptiva es usada en este proyecto de investigación para describir, graficar y e identificar los aspectos más relevantes en el departamento de fundición y sus procesos, que conlleven a la resolución del problema en cuestión.



## **9.2. Métodos de investigación.**

Los métodos que a continuación se muestran permiten la realización del presente estudio de investigación.

### **9.2.1. Método inductivo**

Mediante este método se parte de la observación del proceso de fundición de chatarra de aluminio, se crea la hipótesis, que al realizar un modelo de simulación de las actividades de la planta de fundición Cedal, se determinarán acciones basadas en metodologías de mejora para el óptimo desempeño del proceso productivo.

### **9.2.2. Método bibliográfico**

Este método nos permite obtener información relevante sobre el proyecto a investigar en diferentes fuentes bibliográficas como artículos científicos, libros, revistas, los cuales nos permiten analizar de mejor manera los aspectos más relevantes.

## **9.3. Técnicas de investigación**

### **9.3.1 Investigación de campo**

La investigación de campo es usada en el proyecto de investigación porque permite conocer los procesos actuales, tiempos y movimientos en el área donde se llevará a cabo el estudio de la problemática, para aplicar los conocimientos de manera práctica a fin de darles solución.

### **9.3.2 Observación**

Consiste en el registro de los aspectos relevantes del proceso a medir que nos permita el análisis de los hechos y comportamientos donde los operarios se desarrollan sus actividades a diario.

### **9.3.3 Estudio de tiempos**

Es una técnica que permite establecer el tiempo que requiere un operario normal con la suficiente experiencia utilizando herramientas apropiadas y por ende efectuando las tareas a marcha normal con las condiciones ambientales adecuadas. (Palacios, 2016)

## **9.4. Instrumentos de investigación**

### **9.4.1 Diagrama de flujo**

Mediante este instrumento se puede observar el proceso actual de manera puntual los pasos o etapas necesarias para el proceso de fundición, donde se manejan una serie de símbolos que

ayudan a identificar: procesos, inspecciones, esperas, almacenamientos por lo que permite llevar de manera correcta las tareas que contribuyen con mayor valor añadido en el proceso productivo.

#### **9.4.2 Calculo estadístico**

En el proceso de fundición intervienen variables que no tienen una distribución precisamente normal, las pruebas realizadas a los datos recopilados permitirán identificar el ajuste de curvas en los factores actuantes principalmente el tiempo.

## **10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.**

### **10.1 Análisis de la situación actual de la empresa**

#### **10.1.1 Observación de procedimientos en el área de fundición de manera secuencial.**

Con la observación realizada se identifican los diferentes procesos y subprocesos que ejecutan en el área de fundición, cabe mencionar las diferentes actividades que tienen lugar en planta requieren de varios factores determinantes para el proceso general.

##### **10.1.1.1. Productos de la planta de fundición Cedal**

Los productos son elaborados con aleaciones referente a la normativa técnica ecuatoriana (NTE) INEN 2250, estos valores están ubicados acorde al rango requerido de la composición química, es una normativa la cual se respeta en la empresa CEDAL S.A puesto que marca la calidad del producto terminado que esta produce (INEN, 2017) los que mismos que se muestra en la Tabla 4

**Aleación 6063.-** En este tipo de aleación sus carteristas mecánicas son la que resaltan puesto que generalmente es utilizado para aplicaciones arquitectónicas tales como ventanas, puertas, muros, cortinas, ángulos, perfiles, marcos, tapa marcos, etc.

**Aleación 6005.-** Este tipo de aleación se caracteriza por poseer una alta resistencia, aunque esto implique una difícil extrusión, este tipo de aleación tiene como objetivo de uso estructural, puesto que es resistent y con acabado no decorativo, se aplica para estructuras especiales, vigas, varillas, ángulos grandes etc.

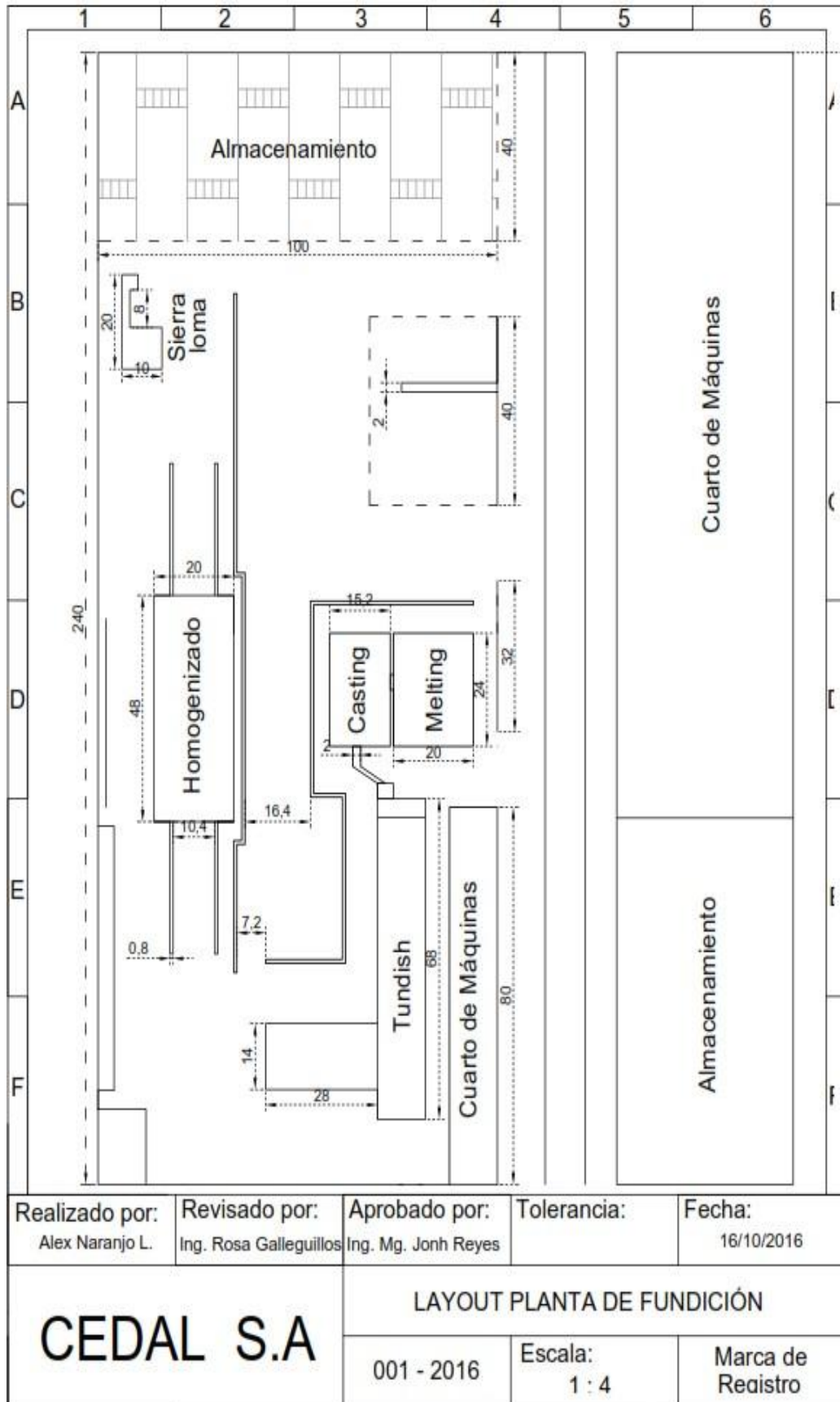
**Aleación 6061.-** Este tipo de aleación tiene buenas propiedades mecánicas y para su uso en soldaduras. Es una de las aleaciones más comunes de aluminio para uso general, especialmente estructuras de alta resistencia que requieran un buen comportamiento frente a la corrosión, camiones, barcos, vehículos ferroviarios, mobiliario y tuberías.

**Tabla 4** Productos de la empresa Cedral S.A

Límites de la composición química											
Aleación		Límites	Si%	Fe%	Cu%	Mn%	Mg %	Cr%	Zn%	Ti%	Otros c/u total
ISO	ANSI / ASTM										
AlSiMg	6005	Max	0.9	0.35	0.1	0.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.05/ 0.15
		min	0.6	...	...	...	0.4	...	...	...	
AlMg0.7Si	6063	Max	0.6	0.35	0.1	0.1	0.9	0.1	0.1	0.1	0.05/ 0.15
		min	0.2	...	...	...	0.45	...	...	...	
AlMg1SiCu	6061	Max	0.8	0.7	0.4	0.15	1.2	0.3	0.2	0.1	0.05/ 0.15
		min	0.4	...	0.1 5	...	0.8	5 0.0 4	5 ...	5 ...	

Fuente: (INEN, 2017)

Tabla 5. Layout planta de fundición Cedal



Elaborado por: (Naranjo, 2017)

## 10.1.2. Levantamiento de información de los procesos.

### 10.1.2.1. Materia prima para el proceso de fundición

#### 10.1.2.1.1. Aluminio primario

**Figura 10** Almacenamiento de aluminio primario



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

Material en estado puro con una cantidad de 99,98% de aluminio, exportado desde la india en la Figura se muestra el material en la bodega de almacenamiento. Ver figura 10

#### 10.1.2.1.2. Chatarra Cedal

**Figura 11** Deposito de la Chatarra rechazada



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

Chatarra proviene como resultado de diferentes procesos dentro de la planta CEDAL S.A es decir rechazos de otras etapas para volver a ser procesadas. Ver figura 11

### 10.1.2.1.3. Chatarra Negra

**Figura 12** Chatarra negra almacenada en los patios de fundición



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

La chatarra nacional es el resultado del envío por parte de una empresa de recolección, la característica principal de este tipo de chatarra es su alto contenido de hierro. Ver figura 12

### 10.1.2.1.4. Chatarra Mesa importada

**Figura 13** Chatarra mesa importada



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

Es el resultado de procesos de extrusión en los que se han generado rechazos generalmente se puede destacar su aleación 38% Si, 16% FE, 50% Mg dependiente con tolerancia al cambio. Ver figura 13

#### 10.1.2.1.5. Chatarra Alambre Nacional

**Figura 14** Chatarra de alambre



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

La chatarra de alambre nacional proviene del reciclaje de materiales la característica de este material es su contenido medio de hierro. Ver figura 14

#### 10.1.2.1.6. Magnesio

**Figura 15** Almacenaje de Magnesio



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

El magnesio en la aleación Mg-Al, provee la resistencia del material a la corrosión se ya que su aplicación regula limites sobre tres impurezas metálicas: el hierro, el cobre y el níquel, empleado también en automóviles, llantas, etc. Ver figura 15

#### 10.1.2.1.7. Silicio

**Figura 16** Almacenamiento de Silicio



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

El silicio en la aleación Al-Si provee al material de adecuadas propiedades de moldeo, soldabilidad y resistencia a la corrosión, incluso en ambientes marinos, haciendo del producto final un material mucho más resistente y dúctil. Ver figura 16

#### 10.1.2.1.8. TIBOR

**Figura 17** Tibor



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

Es una combinación de titanio-boro usado como refinador de grano. Ver figura 17



### 10.1.2.1.8. Argón

**Figura 18** Aragón



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

Gas inerte usado como medio para desgasificar la colada de aluminio, eliminando el hidrogeno y permitiendo el encapsulamiento del oxígeno, calcio, etc. El tamaño de la burbuja de inyección será el factor fundamental para una correcta desgasificación mientras más pequeña mejor, en CEDAL se inyecta dentro del tanque desgasificador. Ver figura 18

### 10.1.2.1.9. Materiales cerámicos

#### Nitruro de boro

**Figura 19** Nitruro de Boro



Promueve a un servicio de descontaminación, además de ser un material altamente impermeable, principal aplicación en la planta de fundición CEDAL S.A es el revestimiento protector y preparación de crisoles. Ver figura 19

**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

#### Fibra Cerámica

**Figura 20** Fibra de cerámica



Son usados en los canales hacia el Tundish, en los conos cerámicos, y usos que ameriten esos soportan altas temperaturas por lo cual es usado en la preparación de moldes. Está hecha a base de fibra cerámica, apta para soportar altas temperaturas. Ver figura 20

**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A

## Colchoneta de fibra cerámica

**Figura 21** Colchoneta de fibra cerámica



Temperaturas de 538°C – 1482°C, la colchoneta combina la resistencia al calor de un ladrillo refractario, usada en el recubrimiento para la preparación del Tundish y etapas en las que se necesite mantener el calor del material. Ver figura 21

**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A

## Varillas de grafito

**Figura 22** Varillas de grafito



Su principal aplicación es retardar la oxidación y reducir el desgaste por abrasión, ya que por medio de esta varilla se lubrica al billet además de generar una cantidad de pequeñas burbujas que provocan una mejor desgasificación del material. Ver figura 22

**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A

## O-ring

**Figura 23** O-ring



Dispositivos circulares de caucho usados para evitar la fuga de aceites de los moldes de aluminio, requiere una constante revisión para evitar que el flujo de material salga con un acabado deficiente. Ver figura 23

**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A

## 10.1.2.2. Proceso de fundición

### 10.1.2.2.1. Melting

La primera etapa del proceso de transformación del aluminio es en el horno de fundición tipo Hertwich, el mismo que eleva el material a altas temperaturas para formar una colada de aluminio. Ver figura 24

**Figura 24** Proceso Melting



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

### 10.1.2.2.2. Casting

Horno enlazado con el Melting como se muestra en la Figura 25, está unido mediante un conducto el cual deja pasar el material fundido a dicho recipiente en el cual ingresa a una etapa de mantenimiento tanto de temperatura como de composición química.

**Figura 25** Proceso Casting



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

### 10.1.2.2.3. Tundish

**Figura 26** Proceso Tundish



**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

Proceso encargado de conformación de los lingotes de aluminio también denominados (Billet's), consta de una serie de etapas continuas, como la inyección de tior (Titanio -Boro), el desgasificador por medio de la mezcla con argón para llegar al Tundish lugar en el que se encuentra los moldes para la estructuración de los Billet's.

### 10.1.2.2.4. Homogenizado

El sistema de homogenizado denominado también como Recocido Total, el cual se pretende la eliminación de las tensiones del producto fundido, incrementar a plasticidad, la ductilidad y lograr una microestructura específica, este se somete a una temperatura elevada y para a un lento enfriamiento.

### 10.1.2.2.5. Sierra loma

**Figura 27** proceso sierra loma




**Fuente** Planta de fundición Cedal S.A 2019

Proceso encargado de fraccionar los Billet's, reduciendo su tamaño para la entrega final correspondiente, los cortes dependerán del tipo de medida que se demande ya que de esto depende la planificación del tamaño inicial del Billet como se puede observar en la figura 27.

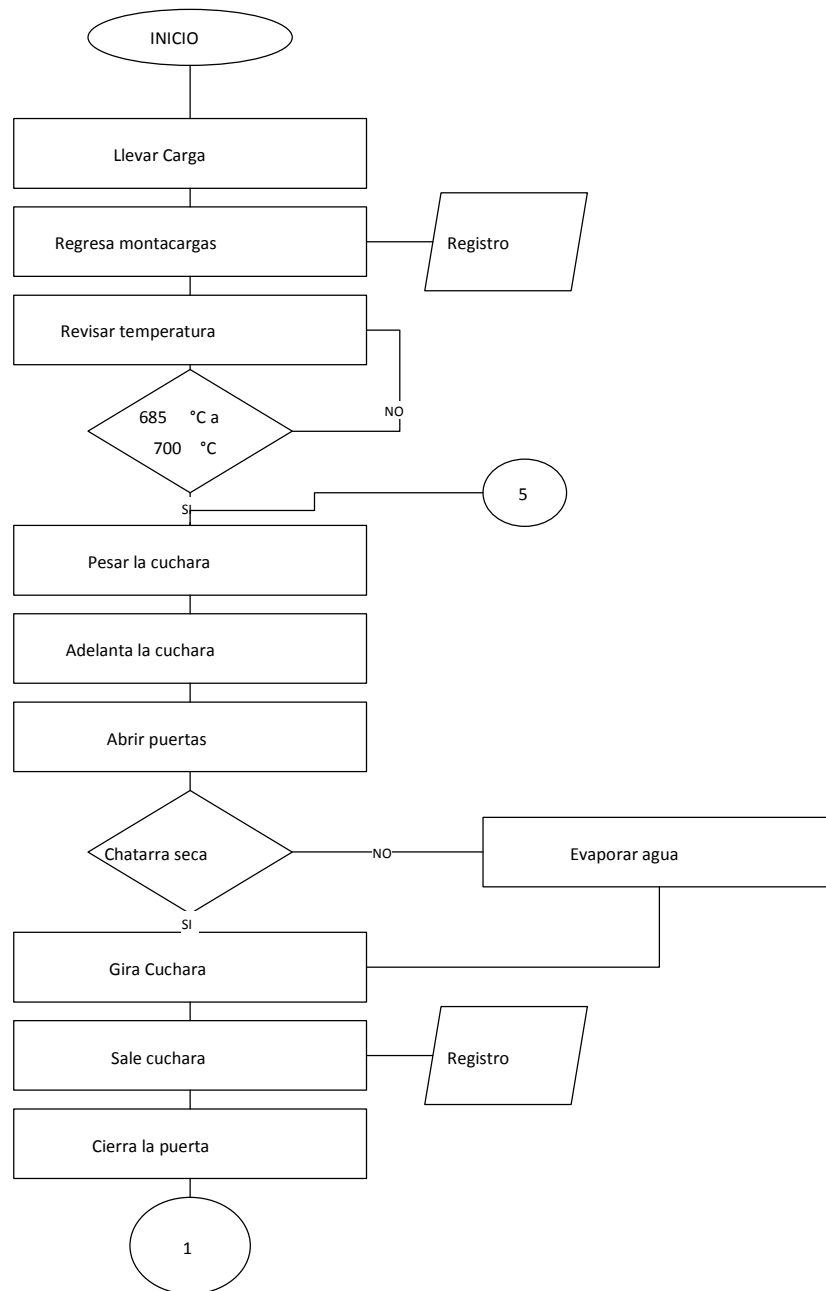
#### 10.1.2.2.6. Descripción de proceso melting

En la Tabla de levantamiento de procesos, se menciona cada una de las actividades que se realizan en este proceso, así como el flujo que lleva en interacción el operario con el área, se puede observar en la Tabla 6.

**Tabla 6** Descripción de proceso melting

	<p><b>Proceso Melting</b></p>	<p>Fecha: 27/11/2019</p>
<p><b>Actividades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingreso de la materia prima chatarra (Primario 99.8% Al, Cedal, Posnacional, Negra, Mesa importada 38% Si 16% FE 50% Mg. Alambre Nacional, Alambre importado)</li> <li>• Transporte de material por medio de un montacargas, ida y vuelta.</li> <li>• Se revisa la temperatura de la temperatura para poder ingresar el material (&gt;685 °C).</li> <li>• Se carga en la cuchara la chatarra, la cuchara es un mecanismo móvil de carga para el posterior ingreso al horno.</li> <li>• Se procede a pesar la cuchara, cuanto de material se ha cargado para luego ingresar al horno.</li> <li>• Una vez la cuchara ha ingresa, en caso de la chatarra contener agua, es de suma importancia que no se vierta directamente el material en el horno hasta que la mismas se haya evaporado.</li> <li>• La cuchara gira en un ángulo de 180° vertiendo la materia prima en el horno.</li> <li>• Luego sale la cuchara en forma intermitente para continuación cerrar la puerta.</li> <li>• Se lleva un registro de los tiempo y material que influyen en el proceso.</li> </ul>		

### Diagramas de flujo procesos


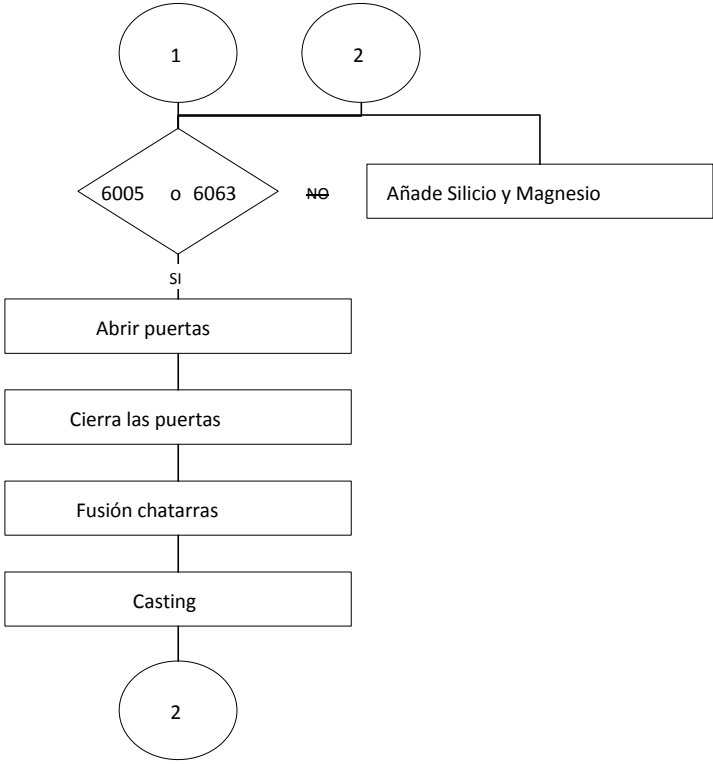


Fuente Autor

#### 10.1.2.2.7. Descripción de proceso casting

El proceso del casting esta detallado en la presente Tabla 7, así también el diagrama de flujo de material que este se ejecuta como resultado del proceso.

**Tabla 7** Descripción actividades - proceso casting


	<p><b>Proceso Casting</b></p>	<p>Fecha: 27/11/2019</p>
<p><b>Actividades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediante un ducto pasa libremente el material fundido</li> <li>• Se adiciona silicio (Si) y magnesio (Mg), según el porcentaje requerido en el horno de fusión y colado.</li> <li>• Se controla el proceso de colado mediante la inspección visual tanto del interior como de los indicadores exteriores.</li> <li>• En caso de que el silicio y el magnesio sean añadidos en esta etapa e necesario que se proceda a una mezcla por medio de un montacargas y el soporte.</li> <li>• Limpia la escoria del horno de fusión.</li> </ul>		
<p><b>Diagramas de flujo procesos</b></p>  <pre> graph TD     Start((1)) --&gt; Decision{6005 o 6063}     Decision -- SI --&gt; Abrir[Abrir puertas]     Abrir --&gt; Cierra[Cierra las puertas]     Cierra --&gt; Fusión[Fusión chatarras]     Fusión --&gt; Casting[Casting]     Casting --&gt; End((2))     Decision -- NO --&gt; Añade[Añade Silicio y Magnesio]     Añade --&gt; Fusión   </pre>		

Fuente Autor

### 10.1.2.2.8. Descripción de proceso tundish

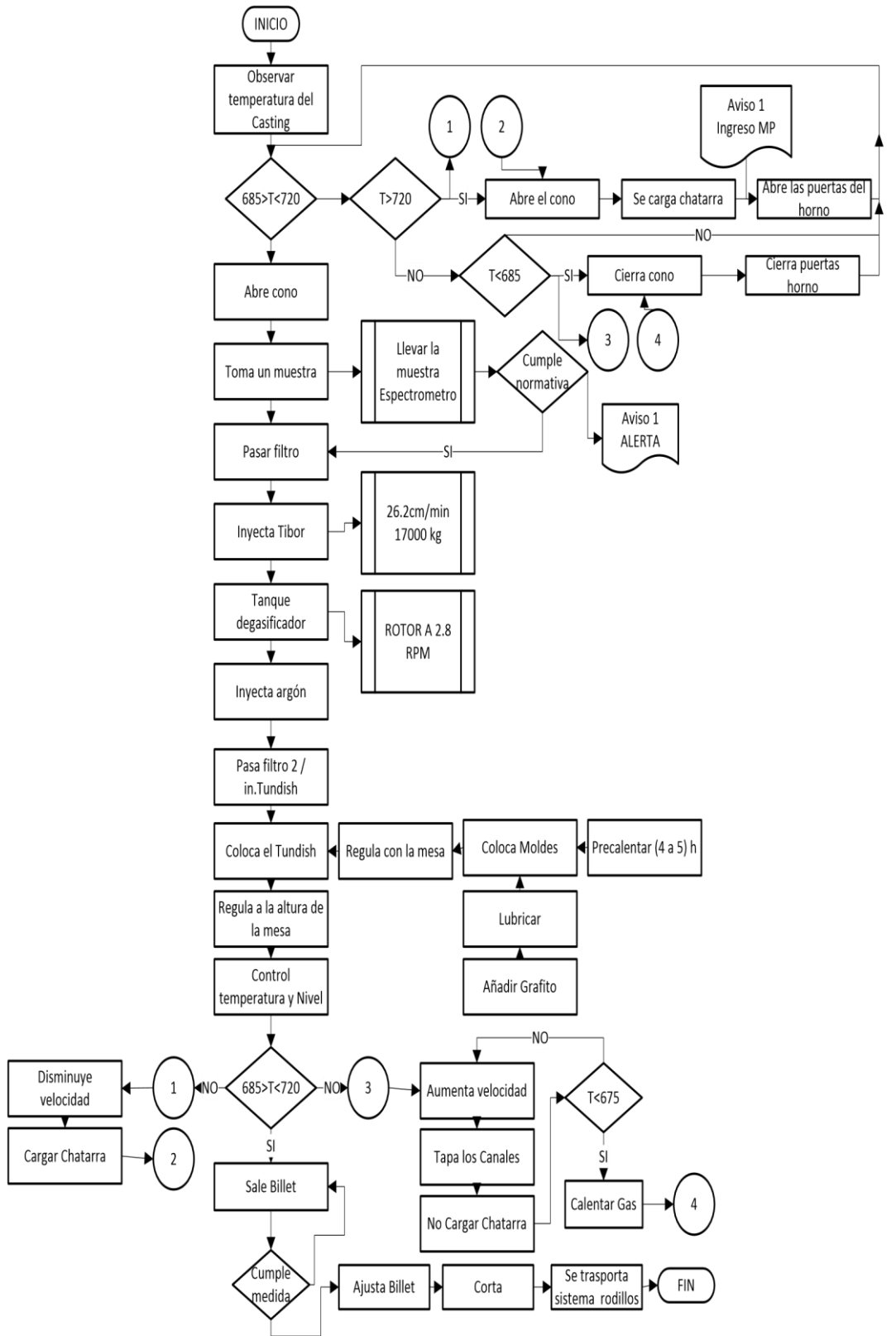
Las actividades del proceso que se ejecuta en el Tundish están detalladas en la presente Tabla 8 , así también su respectivo diagrama de flujo mostrando como se produce la conformación del aluminio.

**Tabla 8** Descripción actividades - proceso tundish

	<p><b>Proceso Tundish</b></p>	<p>Fecha: 03/12/2019</p>
<p><b>Actividades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección de la temperatura del contenido del Casting.</li> <li>• Si la temperatura está en un rango de 685 °C a 720 °C SE abre el cono</li> <li>• Si la temperatura es mayor a 720 °C se procede abrir el cono, cargar chatarra, abrir puerta del horno.</li> <li>• Si la temperatura es inferior a 685 °C se cierra el cono, cierra las puertas del horno.</li> <li>• Una vez que la temperatura se encuentre dentro del rango se procede a mantener el cono a un nivel adecuado.</li> <li>• Se toma una muestra de la salida del casting, la misma que será transportada hacia un espectrómetro, y si cumple la normativa continua el proceso caso contrario es necesario ingresar materia prima a los hornos (Aluminio Primario 99,8%; silicio, magnesio, chatarras) hasta alcanzar la composición deseada.</li> <li>• El material pasa al filtro 1, drenando las impurezas del proceso, escoria.</li> <li>• Pasa al degasificador en el cual mediante un eje de grafito se inyecta un gas inerte en este caso argón, elimina el hidrógeno y otros elementos no deseados que causan porosidad, imperfecciones u orificios en el producto final.</li> <li>• Pasa al filtro 2, en el cual se drena las impurezas sobrantes de los procesos anteriores.</li> <li>• Pasa al Tundish, el mismo que consta de una base regulable en la que se coloca los moldes lubricados, estos moldes deben estar ubicados a la altura de la mesa que transporta los billet's.</li> <li>• Control de temperatura en el Tundish este valor es mostrado por medio de una termocupla, además de una medidora cerámica de nivel debido a la temperatura el cual se encarga de alertar al trabajador.</li> <li>• Luego del Tundish la formación de los billet's continúa saliendo hasta alcanzar la medida indicada, luego por un sistema de ajuste se sostiene los billet's para proceder a cortar por medio de una sierra automatizada del proceso.</li> </ul>		
<p>Se transporta por medio de un sistema de rodillos hasta la espera a ser transportado a la siguiente etapa.</p>		




Diagramas de flujo procesos

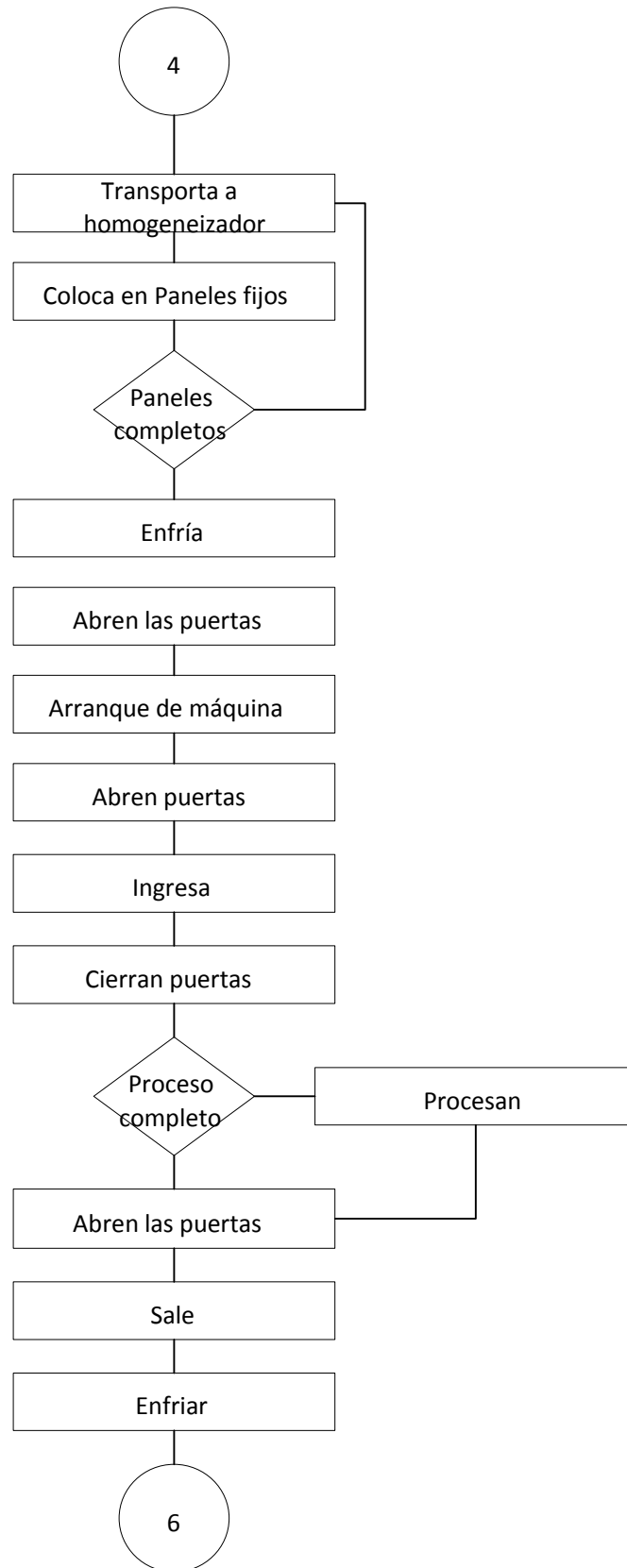


### 10.1.2.2.9. Descripción de proceso homogenizado

El proceso de homogenizado consta de un horno en el cual el material conformado pasa a altas temperaturas para transformar su microestructura, a continuación, se detallan las actividades realizadas en la Tabla 9.

**Tabla 9** Descripción actividades - proceso homogenizado


	<p><b>Proceso Homogenizado</b></p>	<p>Fecha: 03/12/2019</p>
<p><b>Actividades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se transporta desde la salida del Tundish, hacia el ingreso del homogenizador.</li> <li>• Se coloca los billet's en paneles fijos mediante un montacargas y la acomodación de la persona de los paneles.</li> <li>• Los billet's quedan en proceso de enfriamiento para ingresar al horno y ser completados los paneles fijos.</li> <li>• Se procede al arranque, cabe destacar que el primer arranque es más largo que los posteriores.</li>   <li>• Se abren las puertas del horno.</li> <li>• Ingresa los billet's que fueron apilados, los mismos que se alternan entre la parte delantera y trasera del horno.</li> <li>• Se cierran las puertas hasta que el proceso este complete conforme a los tiempos necesarios para cambiar la estructura de los tejidos, acabado superficial, etc.</li>   <li>• Se abren las puertas del horno y deja salir al material el mismo que será puesto en reposo y mediante ventilación natural y artificial, se somete a un enfriamiento lento.</li> </ul>		

**Diagrama de flujo procesos**

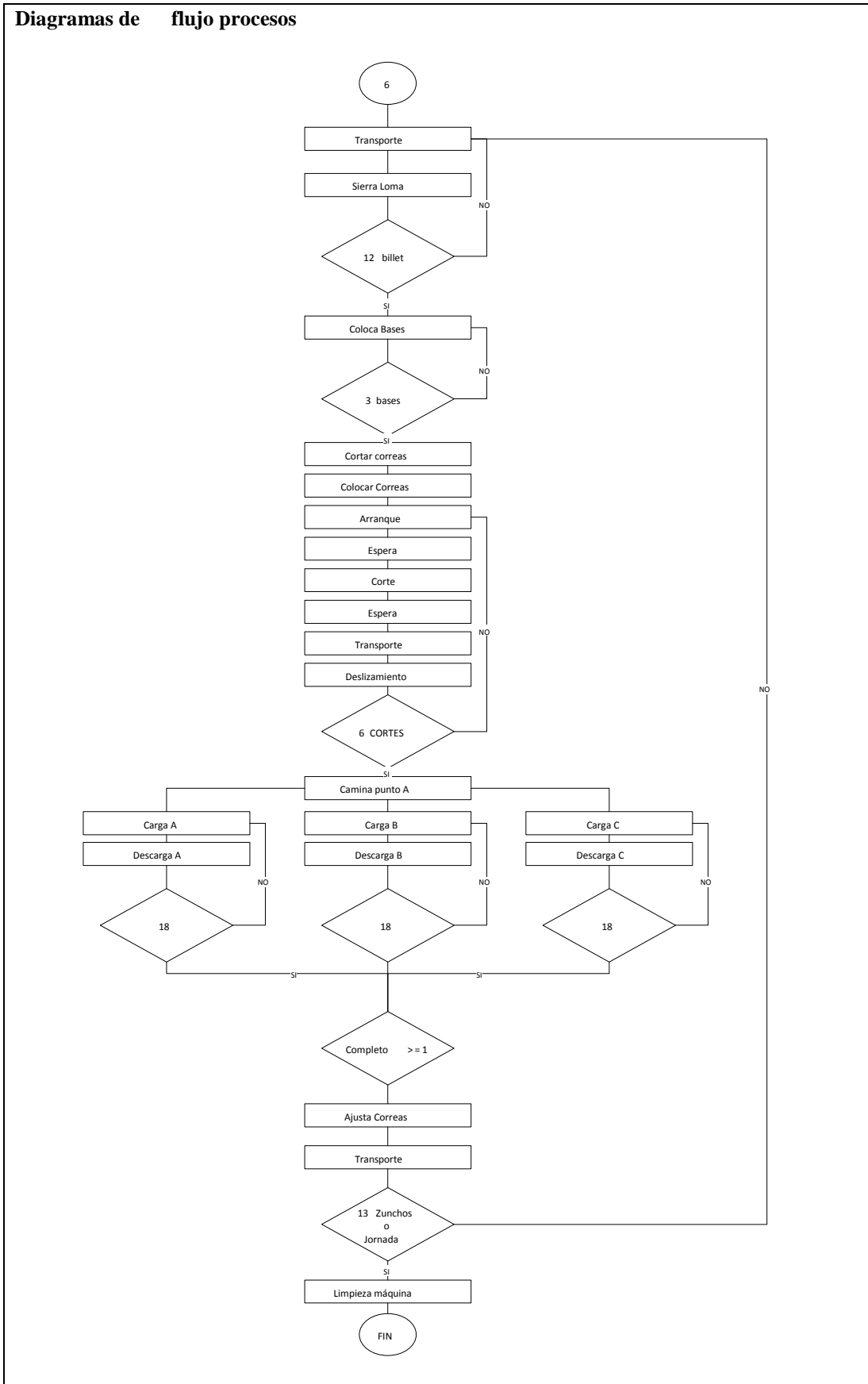
### 10.1.2.2.10. Descripción de proceso sierra loma

Este proceso se destaca por la división en distintas partes de un billet formado, a continuación, se detallan las actividades realizadas en este proceso en la Tabla 10 .

**Tabla 10** Proceso sierra loma

	<p><b>Proceso Sierra Loma</b></p>	<p>Fecha: 03/12/2019</p>
<p><b>Actividades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediante un montacarga se dirige el operario abastecer se Billet´s estos son trasportados hasta completar un número determinado, el mismo que está limitado por soporte de contención de billet´s.</li> <li>• Luego el operario colocará las bases en las que se colocará lo cortes de billet´s.</li> <li>• Una vez terminando la colocación de las bases se procede al corte de las correas.</li> <li>• Se coloca las correas en las bases.</li> <li>• Se ejecuta el arranque de la maquina cortadora <input type="checkbox"/> Luego se activa el corte.</li> <li>• Una vez que el billet ha sido cortado pasa al transporte y posterior deslizamiento hasta ser cargado.</li> <li>• Una vez que se completa 6 cortes el operario camina, rodeando la máquina y se dirige a cargar y descargar los billet´s.</li> <li>• En las bases colocadas se carga de manera selectiva por tamaño de corte.</li> <li>• Una vez que se completa una de etas bases es asegurada con las correas y binchas, aunque las otras bases no estén completas.</li> <li>• Luego pasa al transporte por medio de un montacargas el mimo que colocara en un área de almacenamiento.</li> </ul>		

## Diagramas de flujo procesos



## 10.2. Medición de tiempos de los distintos procesos en fundición

### 10.2.1. Tiempos suplementarios

Se tomó una muestra de las 8 horas de trabajo en diferentes turnos.

La Tabla 11 muestra los tiempos de suplementos de cada una de las áreas del proceso debido a necesidades personales, trabajo de pie, posición incómoda, por la carga levantada, según la iluminación, tensión visual, ruido, tensión mental, monotonía física, estos suplementos son necesarios para calcular el tiempo estándar.

**Tabla 11** Estudio de tiempos suplementos

Suplementos	Melting	Casting Tundish		Sierra	
		Homogenizado	Loma	Homogenizado	Loma
Necesidades personales	5	5	5	5	5
Trabajo en pie	2	2	2	2	2
Incómoda	0	2	0	2	2
Peso levantado por kilogramo	2	7	2	4	2
Iluminación	0	0	0	0	0
Tensión visual	0	2	2	5	2
Ruido	7	7	7	7	7
Tensión mental	4	8	4	8	8
Monotonía mental	4	1	4	4	4
Monotonía física	2	2	2	2	2
Total	26	36	28	39	34

Fuente Autor

### 10.2.2. Tiempos de producción

En la Tabla 12 y 13 se puede destacar los tiempos de producción que se ejecutan en cada uno de los procesos de la planta de fundición CEDAL S.A Latacunga, los mismos que se han detallado y modificado acorde al estudio de tiempo realizado.

**Tabla 12** Tiempos de producción

EMPRESA																												CEDAL S. A																																		
ÁREA																												Fundición										Proceso										Melting					Operación					Carga de chatarra				
Actividades	Mediciones (min)																									X	V (%)	TB	Total																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25																																					
Abrir/cierra puerta	1.5	1.8	2.0	1.7	1.7	1.3	1.9	1.9	1.3	1.7	1.6	1.6	1.5	1.3	1.3	1.5	1.3	1.7	1.4	1.7	2.0	1.5	1.5	1.2	1.4	1.6	138	2.2																																		
Cargar cuchara	5.5	5.6	6.4	4.4	5.5	4.5	4.4	0.5	4.3	4.6	4.3	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4	4.5	4.4	5.4	4.4	5.4	4.3	4.4	4.3	4.8	130	6.2																																			
Pesaje	0.6	0.4	0.5	0.7	0.5	0.7	0.8	0.5	0.4	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.6	0.9	0.7	0.8	0.7	0.7	128	0.9																																		
Ingreso de cuchara	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.4	1.2	1.1	1.5	1.2	1.5	1.6	1.2	1.3	1.5	1.2	1.3	1.6	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1	1.3	129	1.7																																		
Vuelta de la cuchara	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	130	0.4																																		
Sacar cuchara	2.1	2.1	2.1	1.3	1.9	1.2	2.4	2.3	2.2	1.3	1.9	2.5	1.8	1.4	1.4	1.7	2.7	2.9	1.1	2.8	1.2	2.3	1.2	1.5	2.8	1.9	134	2.6																																		
ÁREA																												Fundición										Proceso										Casting					Operación					Mantimiento colada				
Mezcla	4.5	5.5	6.6	5.5	6.5	6.7	5.4	5.7	5.7	6.7	6.7	6.5	5.5	5.6	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.7	6.6	7.7	5.9	132	7.7																																		
Abrir puertas; cerrar puertas	1.5	1.8	2.0	1.7	1.7	1.3	1.9	1.9	1.3	1.7	1.6	1.6	1.5	1.3	1.3	1.5	1.3	1.7	1.4	1.7	2.0	1.5	1.5	1.2	1.4	1.6	136	2.1																																		
ÁREA																												Fundición					Proceso					Tundish					Operación					Conformación de Billet's														
Salida	44.0	43.0	44.5	45.8	45.4	42.8	43.6	45.9	44.8	47.6	43.8	43.7	43.8	43.6	43.8	44.9	47.7	44.7	44.8	44.6	44.7	44.9	44.6	44.7	44.6	44.6	44.6	44.6	44.6																																	

Fuente Autor

Tiempos de producción planta de fundición (continuación1)

Tabla 13 Tiempos de producción planta de fundición

Corte	2.3	2.4	2.5	2.3	2.8	2.4	2.5	2.3	2.3	2.5	2.7	2.6	2.6	2.5	2.8	2.4	2.2	2.5	2.8	2.7	2.8	2.9	2.7	2.5	2.6	2.5	133	3.4	4.2
Transporte	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	129	0.3	
Desplazamiento	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	120	0.2	
<b>ÁREA</b>	<b>Fundición</b>					<b>Proceso</b>				<b>Homogenizado</b>					<b>Operación</b>					<b>Homogenizado</b>									
Abrir/cerrar puertas	1.2	1.1	1.8	1.5	1.5	2.1	1.2	1.5	1.7	1.2	1.4	1.2	1.4	1.5	1.7	1.7	1.2	1.4	1.2	1.2	1.3	1.2	1.5	0.4	1.3	1.4	135	1.9	21.9
Carga	3.0	3.3	3.6	2.8	3.0	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	3.0	2.8	2.7	3.0	2.9	2.8	2.7	2.9	3.1	3.4	3.8	2.7	3.0	4.0	2.8	3.0	132	3.9	
Descarga	7.8	8.2	6.5	7.6	9.1	7.6	6.7	8.7	9.8	9.8	7.9	8.9	8.9	7.8	7.9	8.9	8.9	7.8	7.9	7.7	7.9	8.9	7.9	7.8	7.9	8.2	128	10.5	
<b>ÁREA</b>	<b>Fundición</b>					<b>Proceso</b>				<b>Sierra Loma</b>					<b>Operación</b>					<b>Corte de Billets</b>									
Alistamiento y preparación	7.7	5.5	7.8	8.8	5.7	10.5	12.3	14.3	15.5	6.7	8.8	9.4	10.1	13.5	15.4	16.1	18.1	11.2	14.4	15.4	15.5	13.3	14.3	15.3	15.3	12.0	129	15.5	15.8
Arrancadas	11.3	15.1	15.2	15.2	13.9	12.3	13.4	16.5	13.4	13.2	15.3	16.3	12.2	10.2	13.8	14.2	15.3	10.3	17.0	15.3	18.0	15.5	13.3	14.3	15.4	14.3	133	19.0	
Corte	43.9	39.8	44.2	42.3	41.9	43.6	44.6	43.2	44.3	44.2	44.6	43.2	45.7	44.3	43.2	45.5	43.6	44.3	50.9	50.7	40.8	47.8	44.8	43.7	48.8	44.5	137	61.0	
Transporte	9.9	12.5	10.2	12.2	11.2	12.2	10.2	11.2	10.0	11.2	12.3	12.3	11.9	11.1	12.7	12.3	12.4	12.4	12.5	11.1	12.1	13.1	10.0	10.1	12.2	11.6	128	14.8	
Carga-Descarga	10.0	10.2	12.2	9.9	5.5	7.7	6.3	10.0	7.7	7.6	9.9	8.8	9.3	12.2	5.5	6.7	7.7	4.5	6.7	7.7	8.5	9.2	4.4	5.5	6.5	8.0	134	10.7	
Paradas	5.0	6.5	7.3	8.3	4.5	1.2	2.3	4.5	3.3	2.3	2.7	4.4	4.3	6		5.4	4.5	6.7	7.8	10.0	11.2	12.3	12.2	10.4	5.4	6.2	135	8.3	
Transporte con montacargas	2.2	3.3	3.2	3.5	3.4	3.6	3.3	3.5	3.2	3.5	3.2	3.5	3.3	2.3	2.5	2.2	2.3	2.5	2.6	2.4	3.6	3.8	2.5	3.8	2.6	3.0	134	4.0	
Ajuste de carga	1.1	1.2	1.4	1.3	1.5	1.3	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	1.3	1.4	1.7	1.9	1.3	1.3	1.2	1.5	1.8	1.9	1.4	1.2	1.3	1.6	1.4	132	1.9	

Fuente Autor



A continuación , se resume los tiempos empleados del proceso en cada una de sus etapas como dato general de tiempo de producción en el proceso de Homogenizado se le añade 9.5 hr ya que es el tiempo que tarda el proceso una vez ejecutado. Ver tabla 14

**Tabla 14** Resumen de los tiempos del proceso

Tiempos de proceso min	
Melting	10.06
Casting	7.43
Tundish	47.58
Homogenizador	21.51+ (9.5 hr)
Sierra Loma	1.51

Fuente Autor

### 10.2.3. Valoración de trabajo

En la tabla 15 y 16 se muestra en los datos de valoración, en la que muestra los índices de habilidad, esfuerzo, condiciones dando un valor de valoración total al sumar estos valores además se muestra el resumen de los suplementos por área.

**Tabla 15** Estudio de tempos valoración y suplementos

EMPRESA	CEDAL S. A					
ÁREA	% Suplementos y Valoración					
Actividades	Habilidad	Esfuerzo	Condición	Consistencia	Valoración	Suplementos
Abrir/cierra puerta	0.15	0.13	0.06	0.04	138	0.26
Cargar cuchara	0.08	0.13	0.06	0.03	130	

Fuente Autor

## Estudio de tiempos valoración y suplemento (Continuación 1)

**Tabla 16** Estudio de tiempos valoración y suplemento

Pesaje	0.11	0.1	0.04	0.03	128	
Ingreso de cuchara	0.11	0.08	0.06	0.04	129	
Vuelta de la cuchara	0.13	0.12	0.04	0.01	130	
Sacar cuchara	0.13	0.13	0.04	0.04	134	
ÁREA	Casting					
Mezcla	0.13	0.1	0.06	0.03	132	0.36
Abrir puertas; cerrar puertas	0.15	0.13	0.04	0.04	136	
ÁREA	Tundish					
Salida						
Corte	0.13	0.13	0.04	0.03	133	0.28
Transporte	0.12	0.1	0.06	0.01	129	
Desplazamiento	0.05	0.08	0.04	0.03	120	
ÁREA	Homogenizado					
Abrir/cerrar puertas	0.15	0.13	0.04	0.03	135	0.39
Carga	0.13	0.12	0.03	0.04	132	
Descarga	0.13	0.1	0.04	0.01	128	
ÁREA	Sierra Loma					
Alistamiento y preparación	0.11	0.08	0.06	0.04	129	0.34
Arrancadas	0.13	0.13	0.04	0.03	133	
Corte	0.15	0.12	0.06	0.04	137	
Transporte	0.13	0.08	0.04	0.03	128	
Carga-Descarga	0.11	0.13	0.06	0.04	134	
Paradas	0.15	0.13	0.04	0.03	135	
Transporte con montacargas	0.13	0.13	0.04	0.04	134	
Ajuste de carga	0.11	0.12	0.06	0.03	132	

Fuente Autor

### 10.3. Análisis de Consumo

Se ha realizado un consolidado de los consumos diarios de fundición obteniendo los siguientes resultados promedio por días del mes .Ver tabla 17 y Figura 28

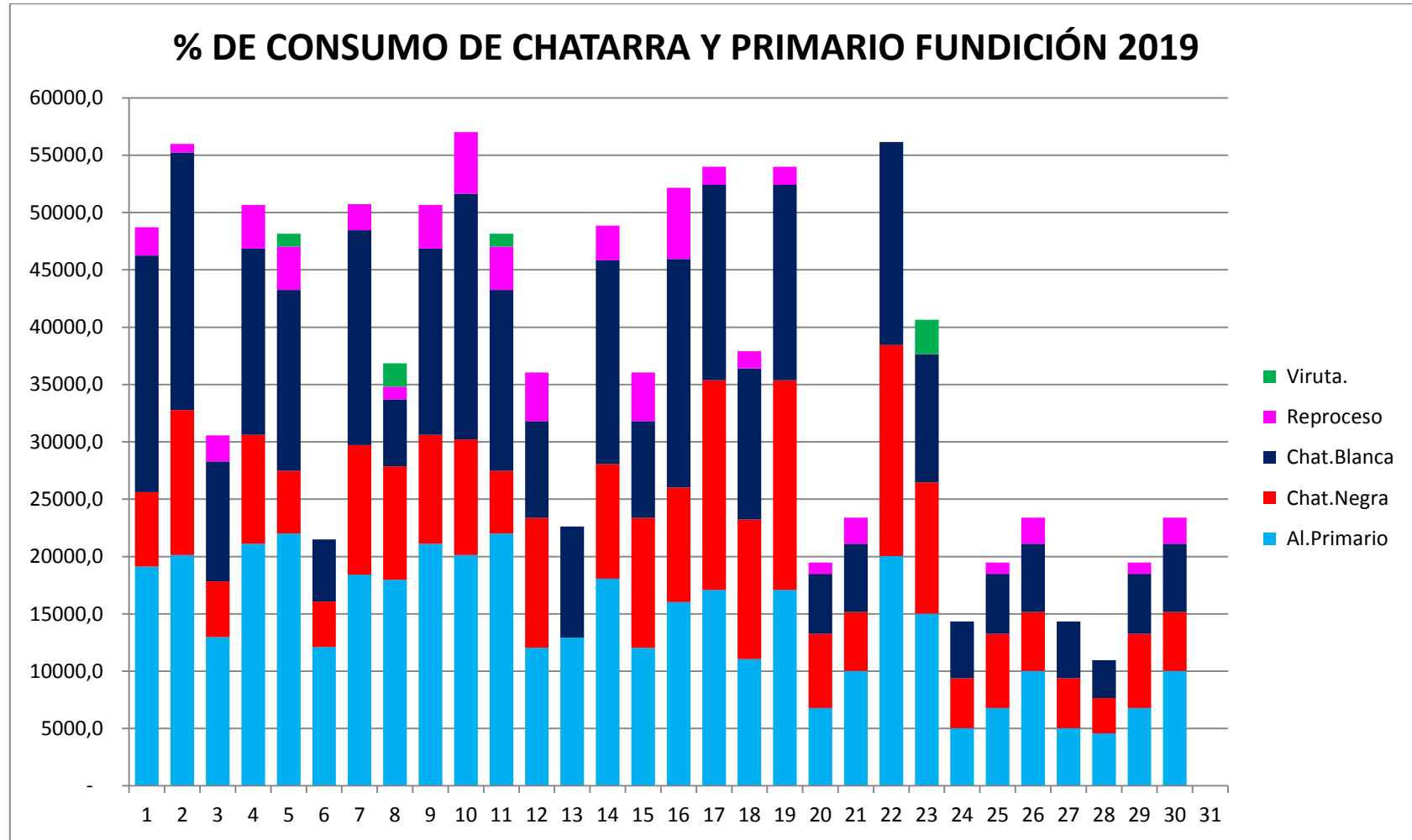
**Tabla 17** Análisis de consumo de fundición

Al.Primario	Chat.Negra	Chat.Blanca	Reproceso	Viruta.	Aleante	Suma de Total.
19.124	6.495	20.634	2.460	-	216	<b>48.929</b>
20.119	12.645	22.459	750	-	246	<b>56.219</b>
12.970	4.871	10.442	2.270	-	100	<b>30.653</b>
21.122	9.498	16.247	3.784	-	254	<b>50.905</b>
22.012	5.455	15.772	3.785	1.120	287	<b>48.431</b>
12.115	3.947	5.420	-	-	102	<b>21.584</b>
18.426	11.286	18.746	2.270	-	189	<b>50.917</b>
17.968	9.898	5.835	1.096	2.060	167	<b>37.024</b>
21.122	9.498	16.247	3.784	-	254	<b>50.905</b>
20.139	10.070	21.429	5.380	-	255	<b>57.273</b>
22.012	5.455	15.772	3.785	1.120	287	<b>48.431</b>
12.040	11.315	8.444	4.242	-	133	<b>36.174</b>
12.925	-	9.681	-	-	84	<b>22.690</b>
18.073	9.977	17.774	3.028	-	258	<b>49.110</b>
12.040	11.315	8.444	4.242	-	133	<b>36.174</b>
16.019	10.004	19.914	6.218	-	196	<b>52.351</b>
17.074	18.294	17.058	1.568	-	277	<b>54.271</b>
11.066	12.155	13.170	1.514	-	161	<b>38.066</b>
17.074	18.294	17.058	1.568	-	277	<b>54.271</b>
6.794	6.458	5.225	1.000	-	137	<b>19.614</b>
10.033	5.116	5.962	2.280	-	107	<b>23.498</b>
20.036	18.408	17.703	-	-	295	<b>56.442</b>
15.010	11.443	11.196	-	3.000	258	<b>40.907</b>
5.035	4.349	4.945	-	-	70	<b>14.399</b>
6.794	6.458	5.225	1.000	-	137	<b>19.614</b>
10.033	5.116	5.962	2.280	-	107	<b>23.498</b>
5.035	4.349	4.945	-	-	70	<b>14.399</b>
4.590	3.065	3.300	-	-	81	<b>11.036</b>
6.794	6.458	5.225	1.000	-	137	<b>19.614</b>
10.033	5.116	5.962	2.280	-	107	<b>23.498</b>
-	-	-	-	-	-	-
<b>312.690</b>	<b>184.749</b>	<b>271.356</b>	<b>41.645</b>	<b>6.180</b>	<b>3.873</b>	<b>820.493</b>

Fuente Autor

En la figura 28 se puede apreciar el balance de ingreso al horno de fundición según el tipo de material de receta

Figura 28 Consumo fundición promedio 2019



Fuente Autor

## 10.4. Análisis de variación de los datos

Se ha realizado un análisis de la distribución de probabilidad que tienen los datos recopilados obteniendo los siguientes resultados. Las distribuciones obtenidas se ingresarán al software ProModel con el fin de brindarle al programa la máxima cantidad de información.

### 10.4.1. Distribución de datos Melting/Casting

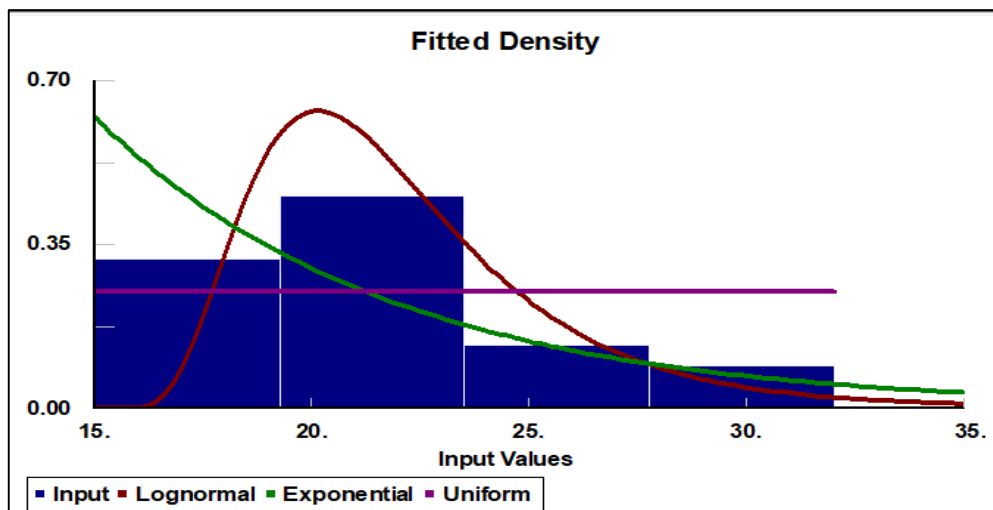
Figura 29 Distribución de datos Melting/Casting

Project Views	
Input	Intervals: 4 Points: 22
Data	1 22
Notes	2 21
Statistics	3 23
Autofit of Distri	4 21
Graphics	5 21
Density	6 25
	7 19
	8 15
	9 19
	10 27
	11 22
	12 28
	13 32
	14 21
	15 27
	16 19
	17 21
	18 18
	19 19
	20 21
	21 21
	22 18
	23

Fuente Stat::Fit 2019

Se muestran los datos tomados según la tabla 12 como muestra para el análisis de distribución, ver figura 29.

Figura 30 Análisis de distribución Melting/Casting



Fuente Stat::Fit 2019

Los datos del proceso Melting/Casting se ajustan a una distribución Lognormal, ver figura 31.

#### 10.4.2. Distribución de datos Tundish

Figura 31 Distribución de datos Tundish

Project Views	
Input	Intervals: <input type="text" value="4"/> Points: <input type="text" value="22"/>
Data	
Notes	
Statistics	
Autofit of Distri	
Graphics	
Density	

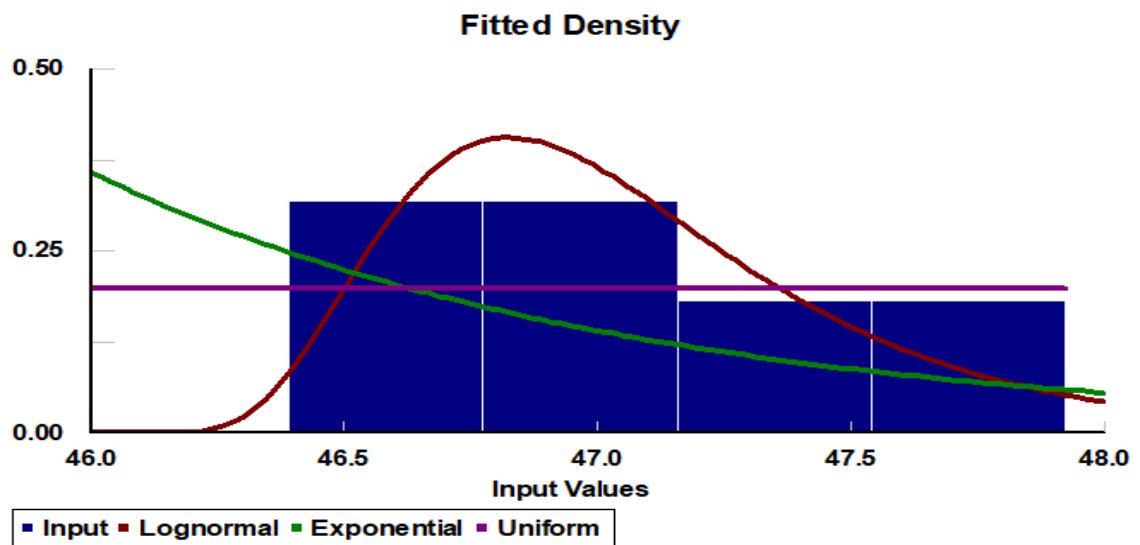
  

1	46.88
2	46.59
3	47.77
4	46.68
5	47.76
6	47.63
7	46.67
8	47.92
9	46.39
10	46.87
11	46.74
12	46.54
13	46.95
14	47.5
15	47.34
16	46.93
17	47.11
18	47.48
19	46.75
20	46.84
21	47.18
22	46.97
23	

Fuente Stat::Fit 2019

Se muestran los datos tomados de la tabla 12 como muestra para el análisis de distribución proceso Tundish, ver figura 31.

Figura 32 Análisis de distribución Tundish



Fuente Stat::Fit 2019

Los datos del proceso Tundish se ajustan a una distribución Lognormal, ver figura 32.

### 10.4.3. Distribución de datos homogeneizado

Figura 33 Distribución de datos de homogeneizado

Project Views	
Input	Intervals: <input type="text" value="4"/> Points: <input type="text" value="22"/>
Data	
Notes	
Statistics	
Autofit of Distri	
Graphics	
Density	

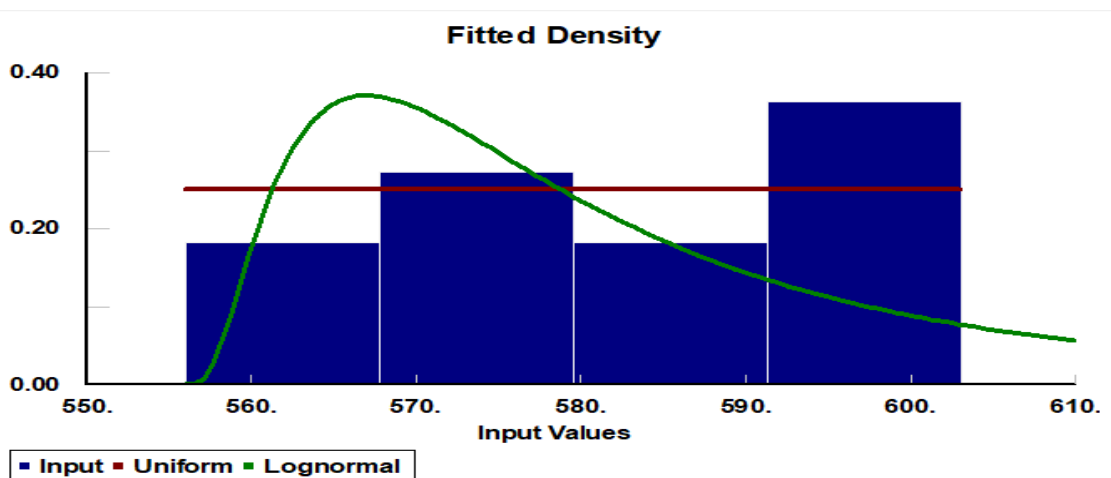
  

1	581
2	589
3	601
4	591
5	597
6	603
7	568
8	576
9	562
10	573
11	594
12	583
13	598
14	577
15	559
16	576
17	598
18	559
19	602
20	556
21	593
22	570
23	

Fuente Stat::Fit 2019

Se muestran los datos tomados como muestra de la tabla 12 para el análisis de distribución, ver figura 33.

Figura 34 análisis de distribución de homogeneizado



Fuente Stat::Fit 2019

Los datos del proceso Homogeneizado se ajustan a una distribución Lognormal, ver figura 34.

## 10.5. Modelado proceso actual

### 10.5.1. Locaciones

El proceso comienza en la zona Almacenamiento lugar donde llegan todos los materiales, la siguiente zona es el Melting donde ingresa la materia prima tiene una capacidad de 16 Tn, el Casting pasa a ser la zona de mantenimiento del aluminio fundido con una capacidad igual a 6 Tn lote de producción, El Tundish y sierra son dos etapas mutuamente relacionadas entre sí puesto que funcionan en sincronía ambas poseen una capacidad de 1.58 Tn de producción, el montacargas es un sistema que permite la salida de materiales hacia el Homogeneizado que es donde a altas temperaturas cambia su microestructura dándole un mejor acabado estructural y superficial para terminar en Bodega de donde será distribuido a distintas etapas de proceso se muestra en la Figura 35.

**Figura 35** Instalaciones del modelo actual

Locations						
Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats	Rules...
	ALMACENAMIENTO	600	1	None	Time Series	Oldest
	MELTING	16	1	None	Time Series	Oldest
	CASTING	6	1	None	Time Series	Oldest
	TUNDISH	1.568	1	None	Time Series	Oldest
	SIERRA	1.568	1	None	Time Series	Oldest
	HOMOGENEIZADO	21.952	1	None	Time Series	Oldest
	BODEGA	500	1	None	Time Series	Oldest
	ALMAC_SH	80	1	None	Time Series	Oldest
	ALMACEN_HOM	80	1	None	Time Series	Oldest

Fuente Autor

### 10.5.2. Entidades

La Figura 36 muestra las entidades con varios tipos de graficas que representan la materia prima de entrada y la de los billets una vez conformados.

**Figura 36** Entidades del modelo con tres gráficos

Entities			
Icon	Name	Speed (fpm)	Stats
	ALUM_PR_CH	150	Time Series
	BILLET_SH	150	Time Series
	BILLET_HOMO	150	Time Series

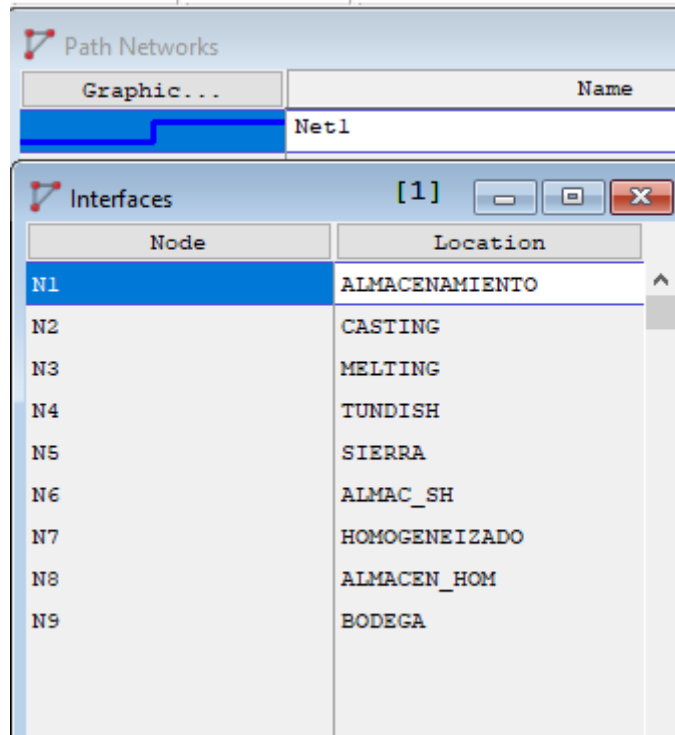
Fuente Autor



### 10.5.3. Rutas

En la Figura 37 se definió una red de movimientos llamada Net1 con una trayectoria haciendo coincidir cada una locaciones y nodo de la red.

**Figura 37** Definición de la red de desplazamiento actual



Fuente Autor

### 10.5.4. Recursos

Los recursos de modelo se establecen en un nodo de la red haciendo que este simule al operario o maquinaria, para el caso de los operarios estarán ubicados en la etapa de melting, casting, tundish, homogenizado respectivamente mientras que las maquinarias o montacargas estarán en el almacenamiento, banda y bodega correspondientemente la programación en el software como se muestra en la Figura 38.

**Figura 38** Recursos del modelo actual

Icon	Name	Units	DI's...	Stats	Specs...	Search...
	TRABAJADOR_1	1	None	By Unit, Time Ser:	Net1, N2, Rtn Home	None
	TRABAJADOR_2	1	None	By Unit, Time Ser:	Net1, N3, Rtn Home	None
	TRABAJADOR_3	1	None	By Unit, Time Ser:	Net1, N4, Rtn Home	None
	TRABAJADOR_4	1	None	By Unit, Time Ser:	Net1, N7, Rtn Home	None
	MONTACARGAS_1	1	None	By Unit, Time Ser:	Net1, N1, Rtn Home	None
	MONTACARGAS_2	1	None	By Unit, Time Ser:	Net1, N6, Rtn Home	None
	MONTACARGAS_3	1	None	By Unit, Time Ser:	Net1, N8, Rtn Home	None

Fuente Autor

### 10.5.6. Arribos

Los arribos será la entidad Aluminio y chatarra con una cantidad de 500 arribos que solo ocurre una vez es decir mantiene una frecuencia de 0 puesto que con esta cantidad arribos abastecerán la producción de una semana de trabajo como se muestra en la Figura 39.

**Figura 39** Llegadas al sistema actual

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency
ALUM_PR_CH	ALMACENAMIENTO	500		1	0

Fuente Autor

### 10.5.7. Atributos

Se uso el atributo Att1 en donde se guarda el tiempo de inicio del sistema tomando en cuenta que es de tipo entero positivo puesto que puede tomar cualquier valor mientras sea positivos se muestra en la Figura 40.

**Figura 40** Atributos del sistema actual

ID	Type	Classification
Att1	Real	Ent

Fuente Autor

### 10.5.8. Variables Globales

En la Figura 41 se muestra las 9 variables del sistema los mismos que han sido necesarios para determinar la tasa de cuello de botella (RB), trabajo en proceso (WIP), el throughput (TH), tiempo de ciclo (CT) así también para medir la cantidad de material con la que se encuentran las etapas de Homogenizado (HOMO), tundish (TUN), sierra (SIE), y lo que está en bodega (BOD).

**Figura 41** Variables del sistema actual

Variables (global)				
Icon	ID	Type	Initial value	Status
Yes	WIP	Real	0	Time Series, Time
Yes	TH	Real	0	Time Series, Time
Yes	CT	Real	0	Time Series, Time
Yes	RB2	Real	0	Time Series, Time
Yes	RB3	Real	0	Time Series, Time
Yes	BOD	Integer	0	Time Series, Time
Yes	TUN	Integer	0	Time Series, Time
Yes	SIE	Integer	0	Time Series, Time
Yes	HOMO	Integer	0	Time Series, Time

Fuente Autor

### 10.5.9. Subrutinas

La subrutina TH\_CALC hace lo siguiente si el tiempo de ciclo (CT) es diferente de 0, calcula throughput (TH) dividiendo la cantidad de trabajo en proceso (WIP) para el tiempo de ciclo (CT) solo se calcula una vez que haya salido la primera pieza como se detalla en la Figura 42.

**Figura 42** Subrutina TH\_CALC actual

Subroutines			
ID	Type	Parameters...	Logic...
TH_CALC	None	None	If (CT<>0) Then (TH=WIP/CT)Else(TH=0)

Fuente Autor

### 10.5.10. Proceso modelo actual

Para definir los procesos es necesario seguir la secuencia del proceso el mismo que se verá afectado por el cálculo de las distintas variables necesarias para el estudio, ver figura 43.

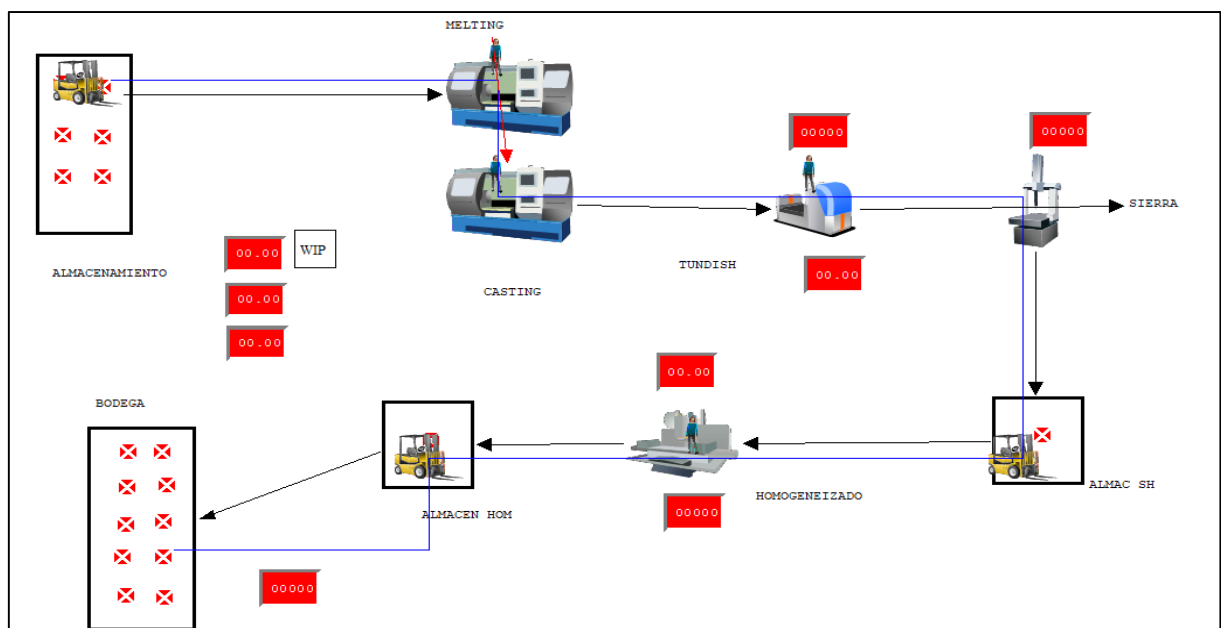
Figura 43 Proceso actual

Entity...	Location...	Operation...
ALUM_PR_CH	ALMACENAMIENTO	TH_CALC()
ALUM_PR_CH	MELTING	Att1=Clock(hr) Inc WIP TH_CALC
ALUM_PR_CH	CASTING	Wait L(15 ,1.85)
BILLET_SH	TUNDISH	TH_CALC() Accum 1.568 Wait L(46
BILLET_SH	SIERRA	TH_CALC() Inc SIE
BILLET_SH	ALMAC_SH	TH_CALC()
BILLET_SH	HOMOGENEIZADO	TH_CALC() Dec WIP Inc HOMO Accum
BILLET_HOMO	ALMACEN_HOM	wait 30 min
BILLET_HOMO	BODEGA	TH_CALC() Inc BOD

Fuente Autor

### 10.5.11. Layout del Proceso Actual

Figura 44 Layout del Proceso Actual



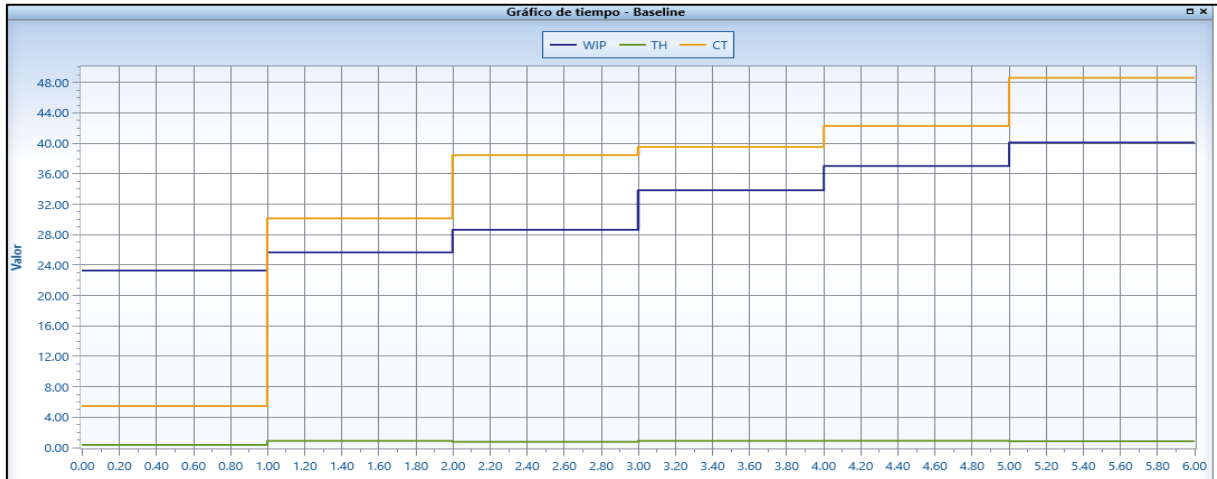
Fuente Autor

Sistema de proceso con todas las variables interactuando, ver figura 44.

**10.5.12. Resultados de la simulación**

La Figura 45 detalla los resultados obtenidos tras la simulación, los mismos que proporcionan los datos del WIP, TH, CT del estado actual de la planta de fundición

**Figura 45** Resultados de la simulación



Fuente Autor

**10.5.13. Resumen resultados de variables en el proceso de fundición**

**Figura 46** resultados de variables del proceso de fundición

Variable Resumen						
Nombre	Total Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Hr)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
TH	1.580.00	0.09	0.00	1.40	0.73	0.77
WIP	376.00	0.38	0.00	43.00	42.00	31.39
RB2	186.00	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00
TUN	186.00	0.77	0.00	186.00	186.00	92.29
SIE	186.00	0.77	0.00	186.00	186.00	92.28
HOMO	167.00	0.86	0.00	167.00	167.00	83.86
CT	146.00	0.98	0.00	61.29	57.62	34.08
RB3	146.00	0.98	-27.08	2.68	0.07	-0.60
BOD	146.00	0.98	0.00	146.00	146.00	63.70

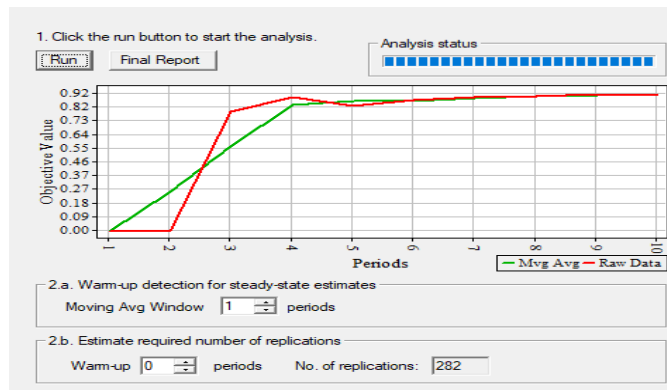
Fuente ProModel 2019

Se muestra el resumen de los resultados de la simulación con su respectiva valoración, ver figura 46.

### 10.6. Optimización con SimRunner

Gracias a la herramienta implementada en el software ProModel llamada SimRunner se puede realizar varios experimentos con el fin de encontrar la manera de que los factores impulsen a una variable para alcanzar su máximo o mínimo posible según se requiera, en este caso la variable que se introdujo para la experimentación es el TH

**Figura 47** Análisis de modelo actual



**Fuente** SimRunner 2019

En la figura 47 se puede apreciar el análisis de 10 replicaciones del modelo de simulación y se refleja el número de replicaciones sugeridas para una mayor certeza en el cambio de variables de optimización

Debido a la versión estudiantil del software solo se permiten máximo 25 experimentos

**Figura 48** Optimización Propuesta con SimRunner

Click the run button to start the optimization

Run Performance Plot Final Report

Convergence Status  
Phase 1: \_\_\_\_\_  
Generation: \_\_\_\_\_

Experiment	Objective Function	TH: Average Value	ALM_HOMO	ALM_SH	Low CI	Hi CI
19	0.754	0.754	39.000	37.000	0.717	0.791
22	0.754	0.754	7.000	37.000	0.717	0.791
8	0.747	0.747	31.000	60.000	0.713	0.781
12	0.747	0.747	46.000	60.000	0.713	0.781
13	0.747	0.747	60.000	60.000	0.713	0.781
15	0.747	0.747	46.000	46.000	0.713	0.781
17	0.747	0.747	31.000	46.000	0.713	0.781
3	0.747	0.747	60.000	46.000	0.713	0.781
21	0.747	0.747	14.000	50.000	0.713	0.781
5	0.747	0.747	16.000	46.000	0.713	0.781
23	0.747	0.747	57.000	43.000	0.713	0.781
25	0.747	0.747	34.000	46.000	0.713	0.781
24	0.747	0.747	19.000	39.000	0.713	0.781
14	0.722	0.722	46.000	31.000	0.696	0.749
1	0.722	0.722	31.000	31.000	0.696	0.749

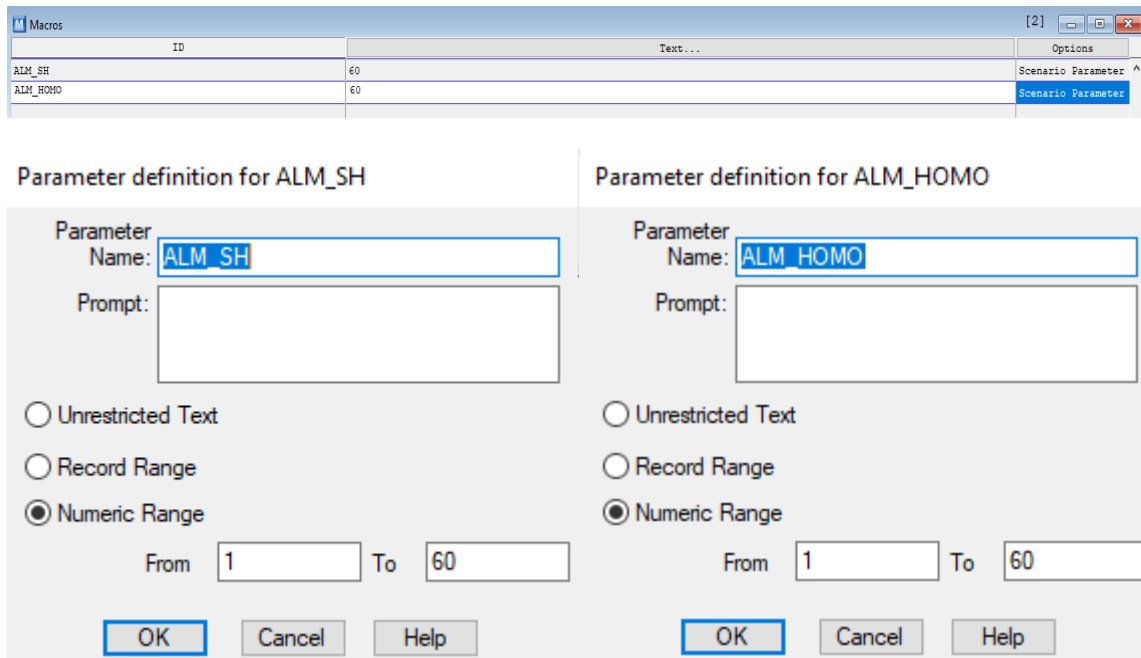
**Fuente:** SimRunner 2019

En la figura 48 el experimento 19 es el resultado más cercano a la maximización de la variable TH, sugiriendo los valores que deben aplicarse en el Almacenamiento Sin Homogeneizar y Almacenamiento Homogeneizado, mostrando también los límites superior e inferior del posible resultado de la tasa de producción.

**10.7. Escenarios**

Para construir escenarios de análisis se ha realizado la programación de macros con el fin de aplicar Buffers (Amortiguadores) de capacidad dinámica. Ver figura 49

**Figura 49** resultados de variables del proceso de fundición



Fuente Promodel 2019

**Figura 50** Valores de Capacidad para el escenario.

#	Parámetros	Baseline	Escenario1
	Simular Escenario?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Ultima Corrida de Simulación	15/2/2020 17:08:30	15/2/2020 17:08:33
*	ALM_SH	17	37
*	ALM_HOMO	21	39

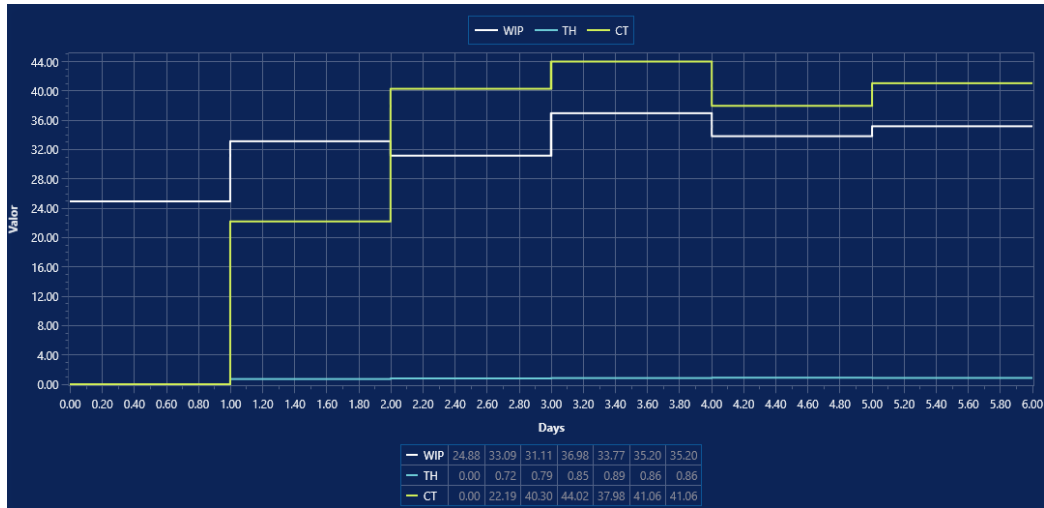
Fuente Promodel 2019

En la figura 50 se puede apreciar la administración de escenarios para la comparación de un nuevo modelo en el que se demuestren las mejoras propuestas. Se ha considerado como modelo base la producción de un turno.

### 10.7. Modelo Propuesto

Una vez simulado el modelo bajo las condiciones obtenidas en SimRunner se obtienen los siguientes resultados

**Figura 50** resultados de variables del proceso de fundición

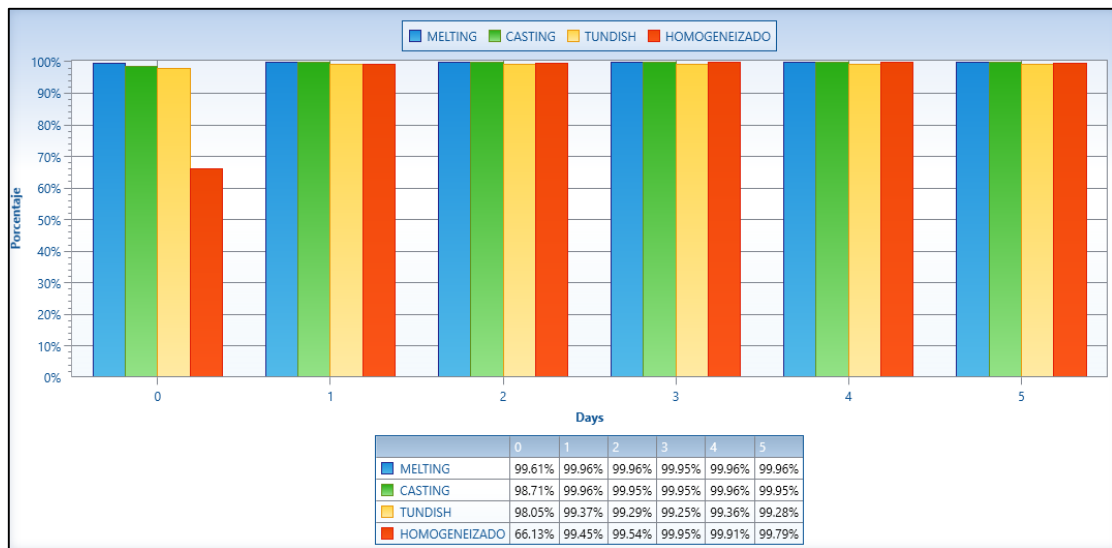


Fuente Output Viewer 2019

### 10.7. Utilización de locaciones

En la figura 50 se puede observar la utilización de las locaciones al pasar los días de la simulación

**Figura 50** indicador utilización



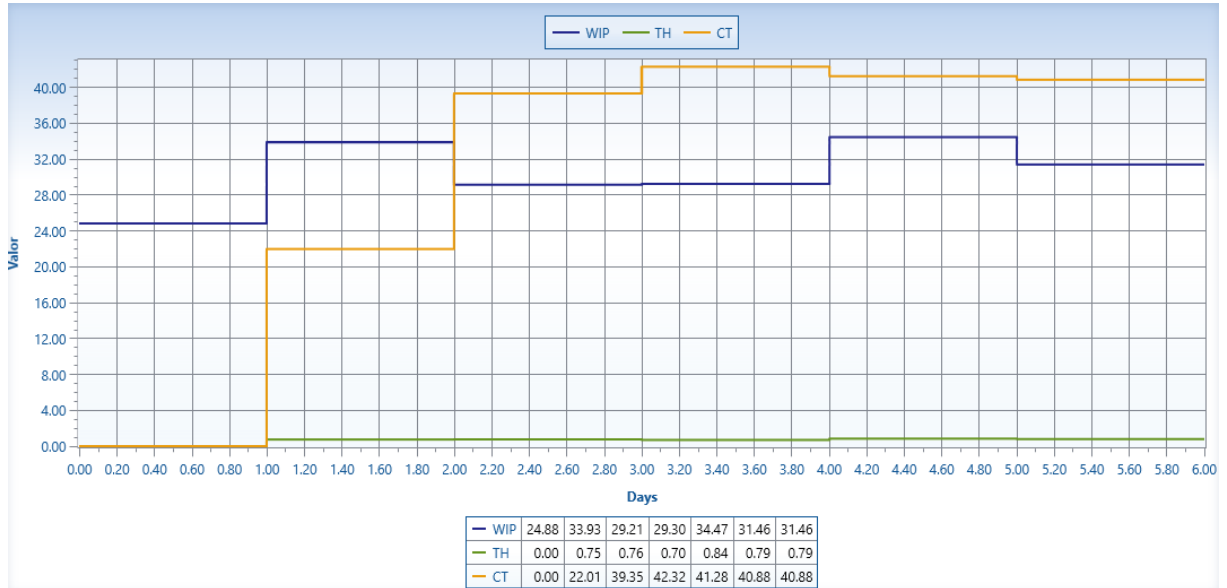
Fuente Output Viewer 2019



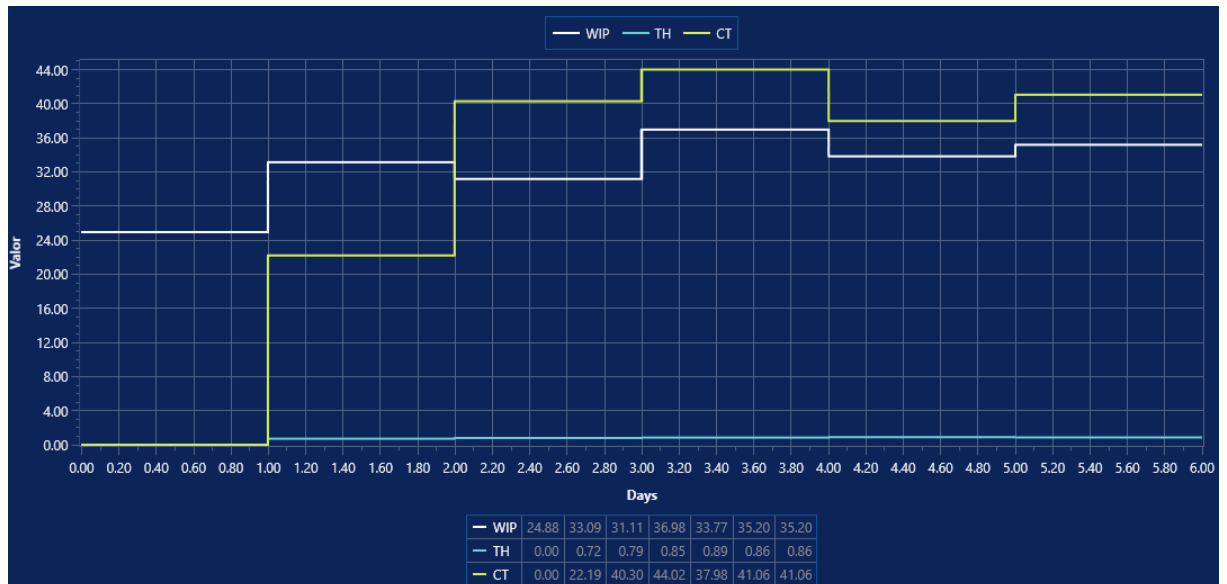
### 10.7. Comparativa de resultados Actual-Propuesto

A continuación, se muestra la comparativa entre los resultados de los modelos de simulación de la situación actual y situación propuesta del proceso de fundición

**Figura 50** Indicadores proceso actual



**Figura 50** Indicadores proceso propuesto



Fuente: ProModel 2019

## Resumen througput

**Tabla 17** Resumen througput

Días	TH (Actual)	TH (Propuesto)
1.00	0.75	0.72
2.00	0.76	0.79
3.00	0.70	0.85
4.00	0.84	0.89
5.00	0.79	0.86
6.00	0.79	0.86

**Fuente:** Autor

En la tabla 18 se puede apreciar que el TH en el modelo Propuesto tiene tendencia al incremento, es decir, la tasa de producción mejoró considerablemente.

### 10.7. Incremento de la productividad

$$\text{productividad actual} = \frac{\text{Unidades producidas actuales}}{\text{Tiempo laboral}}$$

$$\text{productividad actual} = \frac{168 \text{ toneladas}}{144 \text{ horas}}$$

$$\text{productividad actual} = 1.16 \text{ toneladas/hora}$$

$$\text{productividad propuesta} = \frac{178 \text{ toneladas}}{144 \text{ horas}}$$

$$\text{productividad propuesta} = 1.23 \text{ toneladas/hora}$$

$$\text{Incremento de productividad} = \frac{\text{productividad propuesta} - \text{productividad actual}}{\text{productividad actual}}$$

$$\text{Incremento de productividad} = \frac{1.23 - 1.16}{1.16}$$

$$\text{Incremento de productividad} = 6\%$$

## 11. VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL PROYECTO

### 11.1. Impactos Técnicos

Se utilizó métodos técnicos para mejorar el tiempo de producción del proceso de fundición de la empresa Cedal S.A ya que al implementar nuevos procesos de identificación se eliminó las demoras y se redujo los transportes innecesarios, considerando el bienestar físico, comodidad, condiciones y naturaleza del trabajo de los operarios. De esta manera se incrementó la productividad del área de fundición un 6%.

### 11.2. Impactos Económicos

A través de la implementación de mejoras en el área de fundición estudiados en el presente proyecto, contribuye con un mayor aprovechamiento del recurso humano incrementando la productividad en esta área, la cual ha permitido un aumento de 10 toneladas semanales a la producción con los mismos recursos, dejando ver las demoras que representa la mano de obra, transportes innecesarios y falta de maquinaria, reduciendo así sus costos de producción y permitiendo cumplir con la demanda de la empresa Cedal S.A.

### 11.3. Impactos Ambientales

Al no tener un proceso enfocado al estudio ambiental no se obtuvo que aportar en el aspecto ambiental.

### 11.4. Impactos Sociales

Con la disminución de los tiempos de las actividades que conllevan a elaborar el incremento la productividad y por ende la competitividad de la empresa Cedal S.A., por lo cual se realiza un incentivo hacia los profesionales en el área de la producción con nuevos sistemas de información .

## 12. PRESUPUESTO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Tabla 18. Presupuesto

PRESUPUESTO				
N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Total
1	Software ProModel.	1	\$ 120,00	\$ 120,00
2	Capacitación Técnica	1	\$ 150,00	\$ 150,00
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 270,00
<b>IVA (12%)</b>				\$ 32,4
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 302,4</b>

Fuente: Autor

### **13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

#### **13.1. Conclusiones:**

- Mediante la visita in situ a la empresa Cedal se ha desarrollado la descripción de cada una de las actividades que se ejecutan en el proceso, el método de trabajo que se ha empleado es a través de cursogramas sinóptico y analíticos, es así que se ha identificado 5 áreas principales de las cuales a cada una le ha correspondido un desglose de actividades, además de que mediante los diagramas se ha determinado el flujo de proceso a través de la línea de producción; finalmente se ha realizado un estudio de tiempos llegando a determinar el tiempo estándar de cada una de las áreas, los mismo que han sido usados para el desarrollo del modelo a compararse.
- En base al análisis de la situación actual del proceso de fundición se obtuvo los siguientes tiempos aproximados de proceso, Salida de billets 46 min, homogeneizado 16 horas incluido el enfriamiento para su descarga, identificando el cuello de botella en esta última etapa mencionada.
- El modelo de simulación propuesto detalla aspectos relevantes de las etapas del proceso como utilización de planta, tiempo promedio en el sistema de producción, total de salidas y el análisis de experimentos con diferentes variables que han dado como resultado un más que aceptable incremento concretamente en el Througput
- Se incrementó la productividad del área de fundición en un 6% lo que representa que la empresa tiene mayor aprovechamiento de la mano de obra reduciendo así el costo de producción, además permitiendo que la organización cumpla con las órdenes de producción establecidas.

### 13.2. Recomendaciones:

- Para mantener los buffers de acuerdo al requerimiento del horno de homogeneizado la elaboración de un manual de procedimiento para el abastecimiento de material con el fin que el operario se relacione de mejor manera con el ritmo de trabajo, logrando con esto un control eficaz y eficiente de las diferentes actividades que involucran el proceso de fundición.
- Realizar una investigación acerca del software ProModel y un nuevo diseño de experimentos para detectar posibles situaciones de mejora en vista de que se evaluaron indicadores netamente de la tasa de producción.
- Realizar la compra de la licencia profesional del Software para obtener acceso a las herramientas completas y a la asesoría de los desarrolladores con el fin de crear reportes interactivos que informen en tiempo real de irregularidades en el proceso.

## 14. BIBLIOGRAFÍA:

- Alzate Guzmán, N., & Sánchez Castaño, J. E. (2013). Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de ESTUDIO DE MÉTODOS Y TIEMPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CALZADO TIPO CLÁSICO DE DAMA EN LA EMPRESA DE CALZADO CAPRICIOSA PARA DEFINIR UN NUEVO MÉTODO DE PRODUCCIÓN Y DETERMINAR EL TIEMPO ESTÁNDAR DE FABRICACIÓN: <https://core.ac.uk/download/pdf/71397676.pdf>
- Bouza Suárez, A. (junio de 2000). Revista Cubana de Salud Pública. Obtenido de Reflexiones acerca del uso de los conceptos de eficiencia, eficacia y efectividad en el sector salud: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-34662000000100007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662000000100007)
- Carro Paz, R., & Gómez, G. (2013). Administración de las Operaciones. Obtenido de PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/55993832/02\\_productividad\\_competitividad.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPRODUCTIVIDAD\\_Y\\_COMPETITIVIDAD.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/55993832/02_productividad_competitividad.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPRODUCTIVIDAD_Y_COMPETITIVIDAD.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20)
- CEDAL. (2019). Cedal Aluminio. Obtenido de Cedal Aluminio 2019: <http://www.cedal.com.ec/index.php/es>
- Chase, R., Jacobs, R., & Nicholas, A. (2017). Administración de operaciones Producción y cadena de suministros. México: McGraw Hill Interamericana Editores S.A.
- Corporation, P. (2019). ProModel. Obtenido de ProModel Simulation: <http://www.promodel.com.mx/promodel.php>
- Dagdino, J. (2014). La Distribución Normal. Obtenido de <https://revistachilenadeanestesia.cl/la-distribucion-normal/>
- Durán, F. A. (2007). INGENIERÍA DE MÉTODOS. Obtenido de Globalización: Técnicas para el manejo Eficiente de Recursos en Organizaciones Fabriles, de Servicios y Hospitalarias: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46815256/66166239-ingenieria-de-metodos.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIngenieria\\_de\\_Metodos.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200116%2Fu](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46815256/66166239-ingenieria-de-metodos.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIngenieria_de_Metodos.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200116%2Fu)
- Eduardo, Z. (Septiembre de 2010). Academia. edu. Obtenido de <http://steacherke.files.wordpress.com/2010/09/introduccion-al-estudio-del-trabajo-oit.pdf>
- García, A., García, G., Marta, P., Sanchez, L., & Ana, S. (2015). Manual de dirección de operaciones. Editorial de la Universidad de Cantabria.
- García, E., García, H., & Leopoldo, C. (2016). Simulación y análisis de sistemas con ProModel. México: Pearson.
- GARCÍA, R. (2015). MEJORA CONTINUA DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE SISTEMAS KANBAN EN INDUSTRIA CARTONERA ASOCIADA INCASA S.A. Riobamba: ESPOCH.
- García, R. (2016). Estudio del Trabajo. México: McGraw-Hill.
- Goldratt, E. (2018). La Meta. España: Edigrafos S.A.

- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de la Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.
- INEN. (2017). NTE 2250-2017 Aluminio, perfiles, barras, varillasy tubos extruidos. Requisitos e Inspección. INEN.
- Jara, E. (15 de Agosto de 2018). CONTROL EN EL PROCESO ADMINISTRATIVO. Obtenido de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36886286/EL\\_CONTROL\\_EN\\_EL\\_PROCESO\\_ADMINISTRATIVO.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DEL\\_CONTROL\\_EN\\_EL\\_PROCESO\\_ADMINISTRATIVO.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOW](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36886286/EL_CONTROL_EN_EL_PROCESO_ADMINISTRATIVO.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DEL_CONTROL_EN_EL_PROCESO_ADMINISTRATIVO.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOW)
- Jiménez, J., & Castro, A. (1 de Enero de 2015). Ebook Central. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cotopaxisp/reader.action?docID=3181049&query=productividad>
- Krajewsky, L., Ritzman, L., & Manoj, M. (2008). *Administración de operaciones*. México: Pearson Educación.
- Lopez, G. (2001). METODOLOGÍA SIX-SIGMA. Obtenido de CALIDAD INDUSTRIAL: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40008517/six-sigma\\_CALIDAD\\_INDUSTRIAL.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3Dsix\\_sigma\\_CALIDAD\\_INDUSTRIAL.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F2020011](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40008517/six-sigma_CALIDAD_INDUSTRIAL.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3Dsix_sigma_CALIDAD_INDUSTRIAL.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F2020011)
- Naranjo, A. (Julio de 2017). MÉTODO DE MANUFACTURA SINCRONIZADA. MÉTODO DE MANUFACTURA SINCRONIZADA. Latacunga.
- Nhamias, S. (2007). *Análisis de la producción y de las operaciones*. México: The McGraw-Hill.
- Ordinola Castillo, J. C. (Agosto de 2011). Repositorio Institucional Pirhua UNIVERSIDAD DE PIURA. Obtenido de CARACTERIZACIÓN DE LAS TIERRAS DE MOLDEO DE EL PORVENIR DE LA PROVINCIA DE SULLANA: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1301/IME\\_160.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1301/IME_160.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Palacios, L. (2016). *Ingeniería de metodos y movimientos*. Bogota: Eco ediciones.
- Retamoso, C. E. (2007). *Producción Limpia Contaminación y Gestión Ambiental*. Bogota (Colombia): Editorial Pontificia Universidad Javeriana .
- Reyes, J., Alvarez, K., & Vasquez, R. (2016). Dynamic Buffer Management for raw material supply in the footwear industry. *Journal of industrial and intelligent information*.
- Salazar, B. (2016). *Ingenieriaindustrialonline.com*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/c%C3%A1culo-del-n%C3%BAmero-de-observaciones/>
- Sanchez. (29 de Noviembre de 2015). El Ambateño. La industria ambateña esta en innovación constante, págs. 1-1.
- Supe Mena, E. A. (2019). “ESTUDIO DE LOS TIEMPOS Y MOVIMIENTOS Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN DE TAPAS DE ALCANTARILLADO DE LA EMPRESA FUNDI LASER EN LA CIUDAD DE AMBATO EN EL AÑO 2018”. Obtenido de [http://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/1149/1/SUPE\\_MENA\\_ERIKA\\_ALEXANDRA-.pdf](http://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/1149/1/SUPE_MENA_ERIKA_ALEXANDRA-.pdf)
- W.Niebel, B., & Freivalds, A. (2015). *Métodos, estándares y diseño de trabajo*. México: Mc Graw Hill.

## 15. ANEXOS

Anexo1. Producción 2019

Mes	Fecha	Prd.Bruta	Rech. S.Homo	Rech. Homo	Prd.Neta
Enero	1-ene	-	-		
Enero	2-ene	-	-		
Enero	3-ene	17.250	-		17.250
Enero	4-ene	48.614	-		48.614
Enero	5-ene	44.667	757		43.910
Enero	6-ene	45.478	-		45.478
Enero	7-ene	21.900	1.514		20.387
Enero	8-ene	49.175	8.402		40.773
Enero	9-ene	51.751	-		51.751
Enero	10-ene	47.046	-	1.500	45.546
Enero	11-ene	52.508	757	1.568	50.183
Enero	12-ene	50.831	3.784		47.046
Enero	13-ene	21.955	-		21.955
Enero	14-ene	-	-	2.000	- 2.000
Enero	15-ene	-	-		
Enero	16-ene	51.587	4.541	3.136	43.910
Enero	17-ene	42.990	5.353		37.637
Enero	18-ene	26.659	-		26.659
Enero	19-ene	37.637	-		37.637
Enero	20-ene	53.264	1.514		51.751
Enero	21-ene	17.250	-		17.250
Enero	22-ene	51.751	-		51.751
Enero	23-ene	50.182	-	2.144	48.038
Enero	24-ene	44.612	2.271	2.000	40.341
Enero	25-ene	50.182	-		50.182
Enero	26-ene	48.560	1.514		47.046
Enero	27-ene	42.341	-		42.341
Enero	28-ene	18.818	-		18.818
Enero	29-ene	51.587	4.541		47.046
Enero	30-ene	50.885	2.271		48.614
Enero	31-ene	43.910	-		43.910
Febrero	1-feb	50.182	-		50.182
Febrero	2-feb	51.751	-		51.751
Febrero	3-feb	14.114	-		14.114
Febrero	4-feb	17.250	-	3.600	13.650
Febrero	5-feb	51.751	-		51.751
Febrero	6-feb	51.751	-		51.751
Febrero	7-feb	47.046	3.136		43.910
Febrero	8-feb	46.235	757		45.478
Febrero	9-feb	52.453	1.514		50.939



Febrero	10-feb	50.182	-		50.182
Febrero	11-feb	18.764	1.514	4.117	13.133
Febrero	12-feb	49.262	3.784		45.478
Febrero	13-feb	50.885	2.271	3.026	45.588
Febrero	14-feb	31.364	-	3.000	28.364
Febrero	15-feb	50.182	-	1.500	48.682
Febrero	16-feb	30.553	2.325		28.228
Febrero	17-feb	28.228	-		28.228
Febrero	18-feb	-	-		-
Febrero	19-feb	-	-		-
Febrero	20-feb	28.228	-		28.228
Febrero	21-feb	50.182	-		50.182
Febrero	22-feb	46.992	1.514		45.478
Febrero	23-feb	48.614	-		48.614
Febrero	24-feb	43.801	3.028		40.773
Febrero	25-feb	21.955	-		21.955
Febrero	26-feb	51.696	3.082		48.614
Febrero	27-feb	51.751	1.568		50.182
Febrero	28-feb	40.773	-	3.000	37.773
Marzo	1-mar	50.831	4.187		46.643
Marzo	2-mar	48.614	-		48.614
Marzo	3-mar	14.114	-		14.114
Marzo	4-mar	9.409	-		9.409
Marzo	5-mar	50.885	2.271		48.614
Marzo	6-mar	51.533	6.055	2.000	43.478
Marzo	7-mar	42.990	3.784		39.205
Marzo	8-mar	43.910	-		43.910
Marzo	9-mar	43.855	1.514		42.341
Marzo	10-mar	-	-		-
Marzo	11-mar	20.387	-	3.500	16.887
Marzo	12-mar	50.939	3.893		47.046
Marzo	13-mar	46.937	3.028		43.910
Marzo	14-mar	53.319	-		53.319
Marzo	15-mar	50.128	1.514		48.614
Marzo	16-mar	12.546	-		12.546
Marzo	17-mar	-	-		-
Marzo	18-mar	21.955	-	4.000	17.955
Marzo	19-mar	34.228	7.569		26.659
Marzo	20-mar	50.128	4.650		45.478
Marzo	21-mar	36.069	-		36.069
Marzo	22-mar	7.841	-		7.841
Marzo	23-mar	49.371	5.854		43.518
Marzo	24-mar	12.546	-		12.546
Marzo	25-mar	-	-		-
Marzo	26-mar	37.637	-		37.637

Marzo	27-mar	50.939	757	1.864	48.318
Marzo	28-mar	28.228	-	5.000	23.228
Marzo	29-mar	10.977	-		10.977
Marzo	30-mar	49.371	757		48.614
Marzo	31-mar	47.749	2.271		45.478
Abril	1-abr	-	-		-
Abril	2-abr	16.384	3.839		12.546
Abril	3-abr	47.640	5.298		42.341
Abril	4-abr	52.508	757		51.751
Abril	5-abr	51.533	7.623		43.910
Abril	6-abr	12.546	-		12.546
Abril	7-abr	-	-		-
Abril	8-abr	20.387	-		20.387
Abril	9-abr	52.453	5.407		47.046
Abril	10-abr	51.696	1.514		50.182
Abril	11-abr	46.936	4.594		42.341
Abril	12-abr	51.642	4.596		47.046
Abril	13-abr	51.696	3.082		48.614
Abril	14-abr	15.682	-		15.682
Abril	15-abr	10.977	-		10.977
Abril	16-abr	43.746	6.110		37.637
Abril	17-abr	39.908	2.271		37.637
Abril	18-abr	51.533	6.055	4.275	41.203
Abril	19-abr	12.546	-		12.546
Abril	20-abr	-	-		-
Abril	21-abr	-	-		-
Abril	22-abr	9.409	-	1.500	7.909
Abril	23-abr	52.290	8.380		43.910
Abril	24-abr	53.156	4.541		48.614
Abril	25-abr	48.560	1.514		47.046
Abril	26-abr	52.399	5.353		47.046
Abril	27-abr	15.682	-	4.000	11.682
Abril	28-abr	-	-		-
Abril	29-abr	15.682	-		15.682
Abril	30-abr	47.046	-		47.046
Mayo	1-may	48.451	3.839		44.612
Mayo	2-may	50.182	-		50.182
Mayo	3-may	32.067	2.271		29.796
Mayo	4-may	-	-		-
Mayo	5-may	-	-		-
Mayo	6-may	17.250	-		17.250
Mayo	7-may	52.453	2.271		50.182
Mayo	8-may	29.796	-		29.796
Mayo	9-may	52.399	3.784		48.614
Mayo	10-may	51.696	1.514		50.182

Mayo	11-may	49.262	3.784		45.478
Mayo	12-may	-	-		-
Mayo	13-may	17.250	-	4.000	13.250
Mayo	14-may	46.071	5.298		40.773
Mayo	15-may	32.769	4.541		28.228
Mayo	16-may	50.182	4.705		45.478
Mayo	17-may	51.615	3.136		48.478
Mayo	18-may	34.446	1.514		32.932
Mayo	19-may	-	-		-
Mayo	20-may	14.114	-	12.553	1.561
Mayo	21-may	20.387	-		20.387
Mayo	22-may	51.751	3.136		48.614
Mayo	23-may	45.478	-		45.478
Mayo	24-may	-	-		-
Mayo	25-may	-	-		-
Mayo	26-may	-	-		-
Mayo	27-may	9.409	-	1.961	7.448
Mayo	28-may	39.989	-		39.989
Mayo	29-may	50.074	6.164	6.277	37.633
Mayo	30-may	39.908	2.271		37.637
Mayo	31-may	6.273	-		6.273
Junio	1-jun	-	-		-
Junio	2-jun	-	-		-
Junio	3-jun	-	-		-
Junio	4-jun	36.743	6.947		29.796
Junio	5-jun	45.206	9.137		36.069
Junio	6-jun	50.074	3.028		47.046
Junio	7-jun	49.317	2.271		47.046
Junio	8-jun	21.955	-		21.955
Junio	9-jun	-	-		-
Junio	10-jun	-	-		-
Junio	11-jun	25.091	-		25.091
Junio	12-jun	48.614	-		48.614
Junio	13-jun	48.614	-		48.614
Junio	14-jun	31.364	-		31.364
Junio	15-jun	-	-		-
Junio	16-jun	-	-		-
Junio	17-jun	7.841	-		7.841
Junio	18-jun	47.046	-		47.046
Junio	19-jun	47.046	-		47.046
Junio	20-jun	31.364	-		31.364
Junio	21-jun	39.205	-		39.205
Junio	22-jun	50.182	-		50.182
Junio	23-jun	50.182	-		50.182
Junio	24-jun	4.705	-		4.705

Junio	25-jun	43.910	3.136		40.773
Junio	26-jun	-	-		-
Junio	27-jun	-	-		-
Junio	28-jun	-	-		-
Junio	29-jun	-	-		-
Junio	30-jun	-	-		-
Julio	1-jul	-	-		-
Julio	2-jul	-	-		-
Julio	3-jul	32.932	-		32.932
Julio	4-jul	47.046	-		47.046
Julio	5-jul	32.932	-		32.932
Julio	6-jul	-	-		-
Julio	7-jul	-	-		-
Julio	8-jul	-	-		-
Julio	9-jul	10.977	-		10.977
Julio	10-jul	51.751	-		51.751
Julio	11-jul	47.046	-		47.046
Julio	12-jul	51.751	-		51.751
Julio	13-jul	31.364	-		31.364
Julio	14-jul	-	-		-
Julio	15-jul	1.568	-		1.568
Julio	16-jul	50.128	1.514		48.614
Julio	17-jul	45.423	1.514		43.910
Julio	18-jul	17.250	-		17.250
Julio	19-jul	50.182	-		50.182
Julio	20-jul	31.310	15.628		15.682
Julio	21-jul	-	-		-
Julio	22-jul	-	-		-
Julio	23-jul	17.250	-		17.250
Julio	24-jul	48.614	-		48.614
Julio	25-jul	50.182	-		50.182
Julio	26-jul	43.910	-		43.910
Julio	27-jul	48.614	-		48.614
Julio	28-jul	39.205	-		39.205
Julio	29-jul	20.387	-		20.387
Julio	30-jul	50.182	-		50.182
Julio	31-jul	38.394	-		38.394
Agosto	1-ago	51.751	-		51.751
Agosto	2-ago	53.319	-		53.319
Agosto	3-ago	7.841	-		7.841
Agosto	4-ago	-	-		-
Agosto	5-ago	17.250	-		17.250
Agosto	6-ago	48.614	-		48.614
Agosto	7-ago	31.364	-		31.364
Agosto	8-ago	48.614	3.136		45.478

Agosto	9-ago	-	-		-
Agosto	10-ago	-	-		-
Agosto	11-ago	-	-		-
Agosto	12-ago	12.546	-		12.546
Agosto	13-ago	40.773	-		40.773
Agosto	14-ago	4.705	-		4.705
Agosto	15-ago	39.205	-		39.205
Agosto	16-ago	50.182	3.136		47.046
Agosto	17-ago	28.228	-		28.228
Agosto	18-ago	-	-		-
Agosto	19-ago	-	-		-
Agosto	20-ago	40.773	3.136		37.637
Agosto	21-ago	51.751	-		51.751
Agosto	22-ago	43.910	6.273		37.637
Agosto	23-ago	47.046	-	6.164	40.882
Agosto	24-ago	-	-		-
Agosto	25-ago	-	-		-
Agosto	26-ago	14.114	-		14.114
Agosto	27-ago	50.182	-		50.182
Agosto	28-ago	47.046	-		47.046
Agosto	29-ago	31.364	-	3.136	28.228
Agosto	30-ago	12.546	-		12.546
Agosto	31-ago	-	-		-
Septiembre	1-sep	-	-		-
Septiembre	2-sep	-	-		-
Septiembre	3-sep	37.637	1.568		36.069
Septiembre	4-sep	50.182	-	3.136	47.046
Septiembre	5-sep	23.523	-		23.523
Septiembre	6-sep	-	-		-
Septiembre	7-sep	-	-		-
Septiembre	8-sep	-	-		-
Septiembre	9-sep	-	-		-
Septiembre	10-sep	-	-		-
Septiembre	11-sep	25.091	-		25.091
Septiembre	12-sep	42.341	-		42.341
Septiembre	13-sep	47.803	2.325		45.478
Septiembre	14-sep	42.341	-		42.341
Septiembre	15-sep	51.751	-		51.751
Septiembre	16-sep	-	-		-
Septiembre	17-sep	-	-		-
Septiembre	18-sep	-	-		-
Septiembre	19-sep	14.114	-	3.136	10.978
Septiembre	20-sep	-	-		-
Septiembre	21-sep	-	-		-
Septiembre	22-sep	-	-		-

Septiembre	23-sep	-	-		-
Septiembre	24-sep	-	-		-
Septiembre	25-sep	34.500	-		34.500
Septiembre	26-sep	50.885	2.271		48.614
Septiembre	27-sep	40.719	3.082		37.637
Septiembre	28-sep	48.614	-		48.614
Septiembre	29-sep	51.751	-		51.751
Septiembre	30-sep	48.560	1.514		47.046
Octubre	1-oct	21.144	757		20.387
Octubre	2-oct	47.046	-		47.046
Octubre	3-oct	17.250	-		17.250
Octubre	4-oct	-	-		-
Octubre	5-oct	-	-		-
Octubre	6-oct	-	-		-
Octubre	7-oct	-	-		-
Octubre	8-oct	12.546	-		12.546
Octubre	9-oct	-	-		-
Octubre	10-oct	-	-		-
Octubre	11-oct	-	-		-
Octubre	12-oct	-	-		-
Octubre	13-oct	-	-		-
Octubre	14-oct	3.136	-		3.136
Octubre	15-oct	51.642	3.028	1.568	47.046
Octubre	16-oct	50.182	-	1.568	48.614
Octubre	17-oct	45.256	3.028		42.228
Octubre	18-oct	51.696	1.514		50.182
Octubre	19-oct	51.751	-		51.751
Octubre	20-oct	29.012	-		29.012
Octubre	21-oct	31.651	-		31.651
Octubre	22-oct	52.205	2.167		50.038
Octubre	23-oct	45.476	1.665		43.810
Octubre	24-oct	40.061	-		40.061
Octubre	25-oct	51.468	2.271	2.036	47.162
Octubre	26-oct	46.170	-		46.170
Octubre	27-oct	48.441	757		47.684
Octubre	28-oct	18.922	-	3.000	15.922
Octubre	29-oct	51.468	4.541	1.347	45.580
Octubre	30-oct	43.899	-	4.000	39.899
Octubre	31-oct	49.954	-		49.954
Noviembre	1-nov	6.812	-		6.812
Noviembre	2-nov	-	-		-
Noviembre	3-nov	-	-		-
Noviembre	4-nov	-	-		-
Noviembre	5-nov	9.083	-	3.000	6.083
Noviembre	6-nov	51.398	1.665		49.732

Noviembre	7-nov	50.149	3.331	1.700	45.118
Noviembre	8-nov	44.429	1.514		42.915
Noviembre	9-nov	37.637	-		37.637
Noviembre	10-nov	43.910	-		43.910
Noviembre	11-nov	-	-		-
Noviembre	12-nov	20.387	-		20.387
Noviembre	13-nov	47.803	757		47.046
Noviembre	14-nov	50.182	-		50.182
Noviembre	15-nov	48.614	-		48.614
Noviembre	16-nov	48.614	-		48.614
Noviembre	17-nov	-	-		-
Noviembre	18-nov	32.932	-		32.932
Noviembre	19-nov	31.364	-	4.000	27.364
Noviembre	20-nov	42.341	-		42.341
Noviembre	21-nov	51.696	1.514		50.182
Noviembre	22-nov	50.182	-		50.182
Noviembre	23-nov	-	-		-
Noviembre	24-nov	-	-		-
Noviembre	25-nov	22.657	2.271	4.000	16.387
Noviembre	26-nov	45.478	-	3.500	41.978
Noviembre	27-nov	47.046	-		47.046
Noviembre	28-nov	34.392	3.028		31.364
Noviembre	29-nov	47.325	-		47.325
Noviembre	30-nov	-	-		-

## Anexo 2. Costos de Producción

CUADRO DE COSTOS PRODUCCIÓN	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PRODUCCIÓN NETA	1.084	1.033	963	843	820	654	840	748	593	827	834	820
CARGA FABRIL NETA	159.494	131.806	135.959	138.237	132.947	122.856	131.949	145.144	123.507	102.338	127.344	124.669
MATERIALES DE RECETA	118.758	106.444	105.976	81.146	104.552	96.418	118.421	118.586	87.592	106.338	105.122	112.111
TOTAL USD \$ / TM (costo de producción)	257	231	251	260	290	335	298	353	356	252	279	289

