

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCCIÓN PARA LA  
EMPRESA TUBOS Y POSTES CHICLAYO S.R.L. APLICANDO  
LA TEORÍA DE RESTRICCIONES

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL

NATHALY HERNANDEZ VASQUEZ

Chiclayo, 27 de octubre de 2015

**“PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCCIÓN PARA LA  
EMPRESA TUBOS Y POSTES CHICLAYO S.R.L. APLICANDO  
LA TEORÍA DE RESTRICCIONES”**

**POR:**

**NATHALY HERNANDEZ VASQUEZ**

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR**

---

**Mg. César Cama Peláez  
PRESIDENTE**

---

**Dra. Zaida Brenilda Chávez Romero  
SECRETARIO**

---

**Ing. Vanessa Lizet Castro Delgado  
VOCAL**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por brindarme su apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por acompañarme todos los días.

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional.

A mi asesora la Ing. Vanessa Castro Delgado por la orientación en el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Maximiliano Arroyo Ulloa por apoyarme en la elección de mi tema de tesis.

A la empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.”, por proporcionarme toda la información necesaria para elaborar este proyecto, dentro de un clima laboral agradable.

## **PRESENTACIÓN**

El presente trabajo tiene como título “Propuesta de mejora de la producción para la empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.” aplicando la teoría de restricciones, mediante el cual se propone el aumento de indicadores de producción y productividad, y de esta forma también poder brindar un beneficio económico para la empresa.

En el desarrollo de este proyecto de investigación muestra la aplicación de los conocimientos adquiridos dentro de la escuela de ingeniería industrial de la universidad Santo Toribio de Mogrovejo y es aplicado al área de producción de la empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.” de postes de concreto armado centrifugado que se encuentra ubicada dentro del departamento de Lambayeque para resolver de esta forma el problema que actualmente atraviesa la empresa.

Hernández Vásquez, Nathaly.

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analiza el proceso de elaboración de postes de concreto armado centrifugado (PCAC) de media y baja tensión en la empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.” una empresa del sector manufacturero de Lambayeque. Este análisis consistirá en identificar las principales restricciones del sistema, que reducen la eficiencia del proceso, para lo cual se ejecutará un estudio de los principales indicadores de producción mediante un balance de línea, lo que permitirá, realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa mediante la metodología de estudio de trabajo, estudio de tiempos y movimientos, y balance de líneas, sobre la base de un indicador importante de producción que es la productividad con relación a la mano de obra y materia prima.

Identificando de esta manera cuáles son las actividades que representan las principales restricciones del sistema, siendo estas las etapas de armado de la estructura del poste y alistado del molde del poste, para lo cual se propone a cada una de estas un plan de mejora, el que se basará en aumentar la producción de postes; considerando que la secuencia de estas actividades, permite que al levantar una restricción, sea inicio de mejora para la siguiente. De esta manera tal y como lo establece Goldratt a través de su teoría de restricciones, la aplicación de esta teoría permitirá, tener un flujo de ingreso de materia prima más estandarizado, un mejor y adecuado ritmo de productividad de operarios, permitiendo ambos obtener indicadores de producción más eficientes, los cuales se vean reflejados en la reducción de costos de producción; recurso monetario que en primera instancia será empleado para la inversión de los planes de mejora.

A través de la ejecución de los planes de mejora, se obtuvieron mejorados indicadores de producción tales como, la producción de postes de media tensión (15 postes/día), producción de postes de baja tensión (28 postes/día), productividad de materiales de postes de media tensión (957,32 kg), productividad de materiales de postes de baja tensión (937,5 kg), productividad de mano de obra (81,8 kg/operario), productividad económica (0,98 soles/kg), como se observa se han incrementado notablemente debido a planificación y la regularidad de productividad de los operarios. En cuanto al beneficio que obtendrá la empresa al aplicar la teoría de restricciones es de soles S/. 42 360,59 soles en el primer año.

**PALABRAS CLAVE:** Mejora continua, producción, restricción, teoría de restricciones, postes.

## **ABSTRACT AND KEY WORDS**

In this research is analyzed the development process of reinforced concrete poles spin (PCAC) of medium and low voltage in the company "Tubos y Postes Chiclayo S.R.L." a company's manufacturing sector Lambayeque. This analysis is to identify the main constraints of the system, which reduce the efficiency of the process, for which is executed a study of the major production indicators through a balance line, which will perform a diagnosis of the current situation company by the study methodology of work, time and motion study, and balance of lines, based on an important indicator of production is productivity relative to labor and raw materials.

Identifying in this way what are the activities that represent the main constraints of the system, these being the stages of assembling the structure of the post and enlisted mold post, for which it is proposed to each of these an improvement plan, the which it is based on increasing the production of poles; considering that the sequence of these activities, allows to lift a restriction, start the improvement to next. In this way just as established Goldratt through his theory of constraints, the application of this theory allows, have a revenue stream of more standardized raw materials, better and adequate rate of productivity of workers, allowing to obtain both indicators more efficient production, which are reflected in the reduction of production costs; monetary resource that will be used for investment in improvement plans in the first instance.

Finally, to have a better understanding of the study, a comparative analysis between production indicators of the current situation and production indicators obtained through the improvement proposal presented, taking as a result presents the proposed plans allow to increase the indicators production and secondly to reduce processing times.

**KEY WORDS:** Continuous improvement, production, restriction, theory of constraints, clamp post.

## ÍNDICE

CARATULA	i
CARATULA CON JURADO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
PRESENTACIÓN	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	14
II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA.....	15
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	15
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ....	17
2.2.1. PRODUCCIÓN.....	17
2.2.2. PRODUCTIVIDAD.....	17
2.2.3. EFICIENCIA.....	18
2.2.4. TEORÍA DE RESTRICCIONES.....	19
2.2.4.1. Principios fundamentales del proceso de mejora continua de la TOC: .....	19
2.2.4.2. Producción: Cómo Mejorar con TOC: .....	20
2.2.4.3. La aplicación de la teoría de restricciones a producción: Drum – Buffer – Rope (DBR).....	20
2.2.4.4. Medidas de la teoría de restricciones: .....	24
2.2.4.5. Mejora continua en la Teoría de Restricciones: .....	24
2.2.4.6. Usos y beneficios de la Teoría de Restricciones: .....	25
2.3. METODOLOGÍA PARA REALIZAR UN DIAGNÓSTICO EN LA EMPRESA: .....	25
2.3.1. Medición del trabajo.....	25
2.3.2. Estudio de trabajo.....	27
2.3.3. Muestreo del trabajo:.....	28
2.3.4. Balance de líneas de producción:.....	28
III. DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	30

3.1. LA EMPRESA .....	30
3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN. ....	30
3.2.1. PRODUCTOS: .....	30
3.2.2. MATERIALES E INSUMOS: .....	35
3.2.2.1. Materiales: .....	35
3.2.2.2. Insumos: .....	37
3.2.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN:.....	39
3.2.4. SISTEMA DE PRODUCCIÓN:.....	41
3.2.5. ANÁLISIS PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN:.....	41
3.2.5.1. Diagrama d flujo:.....	41
3.2.5.2. Diagrama de operaciones del proceso:.....	43
3.2.5.3. Diagrama de análisis del proceso:.....	44
3.2.5.4. Diagrama de recorrido del proceso: .....	49
3.2.6. Indicadores actuales de producción y productividad: .....	51
3.2.6.1. Productividad: De los materiales, del recurso humano, económico. ....	51
3.2.6.2. Capacidad: Real, Utilizada, Ociosa. ....	53
3.2.6.3. Utilización: .....	53
3.2.6.4. Tiempos estándares: .....	54
3.2.6.5. Cuello de botella:.....	55
3.2.6.6. Tiempo ciclo total:.....	55
3.2.6.7. Eficiencia:.....	55
3.3. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y SUS CAUSAS:.....	56
IV. DESARROLLO DE PROPUESTA DE MEJORAS EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN:.....	66
4.1. Mejoras para las restricciones del sistema de producción:.....	66
4.2. NUEVOS INDICADORES DE PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD: .....	85
4.2.1. Productividad: De los materiales, del recurso humano, económico. ....	85
4.2.2. Capacidad: Real, Utilizada, Ociosa. ....	87
4.2.3. Tiempos estándares. ....	88
4.2.4. Cuello de botella.....	89
4.2.5. Tiempo ciclo total.....	89
4.2.6. Eficiencia.....	89
4.3. CUADRO COMPARATIVO DE INDICADORES. ....	90
4.3.1. Indicadores de producción del proceso de elaboración de PCAC. ....	90

4.3.2. Indicadores en base al tiempo del proceso de elaboración de postes de concreto armado centrifugado:.....	91
V. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO. ....	93
5.1. Pronóstico de ventas:.....	93
5.2. Evaluación del beneficio económico. ....	94
VI. PLANES DE ACCION PARA LA MEJORA: .....	97
VII. CONCLUSIONES: .....	98
VIII. RECOMENDACIONES: .....	99
IX. BIBLIOGRAFÍA: .....	100
X. ANEXOS: .....	103
Anexo N° 1: Resumen de la etapa de armado del proceso de elaboración de poste de concreto armado centrifugado de media y baja tensión.....	103
Anexo N° 2: Resumen de la etapa de alistado del molde del proceso de elaboración de poste de concreto armado centrifugado de media y baja tensión. ....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Objetivos de mejora abordables con la implantación de la aplicación de TOC en producción (DBR).....	23
Tabla N°2: Datos técnicos del poste de concreto armado centrifugado. ....	31
Tabla N° 3: Materiales utilizados para la elaboración de postes de CAC. ....	36
Tabla N° 4: Características de la maquinaria.....	38
Tabla N° 5: Resumen de las actividades de la elaboración de postes de CAC de media y baja tensión. ....	44
Tabla N° 6: Resumen de las actividades de la elaboración de postes de CAC de media tensión. 46	
Tabla N° 7: Resumen de las actividades de elaboración de postes de CAC de baja tensión. ....	48
Tabla N°8: Tiempo de elaboración de postes de CAC de media tensión.....	54
Tabla N°9: Tiempo de elaboración de postes CAC de baja tensión.....	54
Tabla N°10: Tiempo de ciclo total .....	55
Tabla N° 11: Identificación de restricciones, causas y propuestas de solución. ....	56
Tabla N° 12: Producción diaria incumplida por falta de materia prima.....	57
Tabla N° 13: Tiempos empleados para el armado de la estructura del poste de media tensión. .	59
Tabla N° 14: Tiempos empleados para el armado de la estructura del poste de baja tensión. ....	60
Tabla N° 15: Tiempos empleados para alistar el molde (media tensión) .....	62
Tabla N° 16: Tiempos empleados para alistar el molde (baja tensión) .....	63
Tabla N° 17: Pedidos no atendidos por la empresa. ....	65
Tabla N°18 : Material requerido para postes de baja tensión .....	68
Tabla N°19: Material requerido para postes de media tensión .....	69
Tabla N° 20: Costos de producción incumplida. ....	71
Tabla N° 21: Número de trabajadores empleados en la elaboración de postes de CAC de media tensión.....	72
Tabla N° 22: Número de trabajadores empleados en la elaboración de postes de CAC de baja tensión.....	72
Tabla N°23: Tiempos empleados para armar la estructura del poste de media tensión. ....	74
Tabla N° 24: Cantidad de unidades producidas por operario.....	74
Tabla N° 25: Cálculo de número de unidades producidas al día.....	75
Tabla N° 26: Cálculo de la producción futura. ....	75
Tabla N° 27: Cálculo de ventas futuras. ....	75
Tabla N° 28: Tiempos empleados para armar la estructura del poste de baja tensión.....	76
Tabla N° 29: Cantidad de unidades producidas por operario.....	77

Tabla N° 30: Cálculo de número de unidades producidas al día.....	78
Tabla N° 31: Calculo de la producción futura .....	78
Tabla N° 32: Cálculo de ventas futuras. ....	78
Tabla N° 33: Tiempos empleados para alistar el molde (media tensión) .....	79
Tabla N° 34: Cantidad de unidades producidas por operario.....	80
Tabla N° 35: Cálculo de número de unidades producidas al día.....	80
Tabla N° 36: Tiempos empleados para alistar el molde (baja tensión) .....	81
Tabla N° 37: Cantidad de unidades producidas por operario.....	82
Tabla N° 42: Datos de capacidad en base a mejora propuesta.....	87
Tabla N° 43: Datos de tiempos en base a mejora propuesta .....	88
Tabla N°44: Datos de tiempos en base a mejora propuesta. ....	88
Tabla N° 45: Tiempo de ciclo total .....	89
Tabla N° 46: Cuadro Comparativo de indicadores de producción de PCAC.....	90
Tabla N° 47: Comparativo de tiempos de elaboración de postes de media tensión. ....	91
Tabla N° 48: Comparativo de tiempos de elaboración de postes de baja tensión. ....	92
Tabla N° 49: Análisis de ventas de postes de CAC de media y baja tensión. ....	93
Tabla N° 50: Ventas proyectadas de postes de concreto armado centrifugado. ....	94
Tabla N° 52: Programa de ventas proyectadas. ....	95
Tabla N° 53: Inversión requerida para la mejora. ....	95
Tabla N° 54: Balance general de los ingresos y egresos de la empresa. ....	96
Tabla N°55: Plan de acción para la mejora .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Postes de concreto armado centrifugado.....	31
Figura 2: Cruceta simétrica. ....	32
Figura 3: Cruceta asimétrica.....	33
Figura 4: Media loza .....	33
Figura 5: Ménsula. ....	33
Figura 6: Palomilla simple. ....	34
Figura 7: Palomilla doble. ....	34
Figura 8: Bloques de concreto.....	34
Figura 9: Bloques de concreto .....	35
Figura N° 10: Estructura del molde.....	39
Figura N° 11: Curado.....	40
Figura N°13: Diagrama de flujo de elaboración de postes de CAC.....	42
Figura N°14: Diagrama de operaciones de la elaboración de postes de CAC.....	43
Figura N°15: Diagrama de análisis del proceso de elaboración de postes de CAC de media tensión.....	45
Figura N°16: Diagrama de análisis del proceso de elaboración de postes de CAC de baja tensión.....	48
Figura N°17: Diagrama de recorrido del proceso de elaboración de postes de CAC de media y baja tensión. ....	50
Figura N°18: Producción diaria incumplida por falta de materia prima de postes de CAC de media tensión. ....	58
Figura N°19: Producción diaria incumplida por falta de materia prima de postes de CAC de baja tensión.....	58
Figura N° 20: Frecuencia de la etapa de armado. ....	61
Figura N° 19: Frecuencia de la etapa de alistado del molde .....	64
Figura N°22: Propuesta de planificación. ....	66
Figura N°23: Propuesta a seguir para la programación de la limitación. ....	67
Figura N°24: Puntos críticos del proceso de elaboración de PCAC. ....	67

## **I. INTRODUCCIÓN.**

El proceso de globalización ha sido siempre un tema de gran importancia para muchas empresas, el cual no solo busca la integración de los mercados sino la aplicación de nuevas estrategias empresariales orientadas a la búsqueda de un plan de acción que desarrolle las ventajas competitivas de un negocio y las multiplique con la finalidad de distinguirla de las demás empresas del mismo rubro y sobre todo posicionarse en el mercado. Todo esto se muestra en la meta de una empresa, que es incrementar su utilidad.

Muchas empresas del sector manufacturero se encuentran inmersas en una constante problemática acerca de su productividad, eficiencia productiva y la utilización inadecuada de sus recursos, así como también de los elevados gastos de operación y mano de obra. Por otro lado, estas empresas están en una constante búsqueda de soluciones a sus principales problemas, a través de adecuados análisis y evaluación en todos sus sistemas productivos.

El propósito de este trabajo de investigación es brindar un aporte a las empresas que presenten inconvenientes en cuanto a la mejora de la producción ya que esta teoría es aplicable a todo tipo de empresa, mediante la ejecución al detalle de un análisis diagnóstico de todos los indicadores, que permitirá establecer cuáles son las actividades que más atención requieren y cómo se puede revertir una actividad improductiva en una solución de mejora, para todo el sistema productivo.

Frente a lo descrito anteriormente, surge la pregunta: ¿De qué manera se podrá mejorar la producción aplicando la teoría de restricciones en la empresa “Tubos y Postes Chiclayo S.R.L.”?

Para resolver esta interrogante, se plantea: Identificar y levantar las restricciones que reducen la producción mediante el análisis y mejoramiento de los principales indicadores de producción; realizando un análisis de la situación actual, en cuanto a productividad con relación a mano de obra y materia prima; proponer las mejoras adecuadas a cada una de las restricciones existentes en el proceso que reducen la eficiencia del proceso; analizar mediante la aplicación de la teoría de restricciones las

mejoras propuestas a través de la elaboración de un cuadro comparativo entre indicadores actuales e indicadores propuestos.

Para realizar una adecuada aplicación de la Teoría de Restricciones debemos seguir las indicaciones de Goldratt (1984) el cual establece que es necesario llevar a cabo un apropiado estudio de tiempos y movimientos en cada etapa del proceso productivo, así como también balances de líneas de producción, para que de esta manera identifiquen las principales restricciones (cuellos de botellas) que generan problemas, lo que permitirá en un segundo lugar buscar la manera de levantar las restricciones de cada etapa del proceso, a través de la mejora de cada una de ellas, siendo esto de beneficio a la vez para la siguiente restricción, permitiendo así la aceleración del proceso, una vez levantadas las restricciones las líneas podrán trabajar al límite de su capacidad, pero sobre todo de una manera más eficiente.

En cuanto a lo económico a través del cálculo de costo beneficio, se podrá saber cuál será el beneficio económico que tendrá la empresa al implementar la propuesta de mejora de la producción.

En cuanto a lo personal, esta investigación servirá para afianzar y mejorar los conocimientos profesionales en lo que concierne a la mejora de la producción en una empresa manufacturera, a través de la aplicación de conocimientos adquiridos en temas de planificación de la producción, siendo muy gratificante a nivel profesional aportar a una empresa del sector manufacturero los conocimientos adquiridos durante la etapa de preparación universitaria.

## **II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA.**

### **2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.**

Villagómez and Medina (2012), a través de su investigación: *Teoría de restricciones para procesos de manufactura*, hace referencia a la empresa “Productos Alexander” fabricante de snacks de la ciudad de Quito, tiene un sistema de producción que no permite el abastecimiento de los pedidos de sus clientes reflejando un índice de servicio al cliente de 89,58% ya que sus procesos están trabajando con capacidades que no se encuentran correctamente programadas, en vista de tal razón el objetivo de esta investigación es proponer un sistema de mejora continua con el fin de aumentar y efectivizar específicamente la producción de snacks de papas fritas utilizando la Teoría de Restricciones (TOC) como metodología científica. Se realizó la medición de capacidad de cada una de las operaciones que componen el proceso de elaboración de snacks y se identificó la restricción en el proceso de fritura, que no estaba trabajando el 100%. La propuesta planteada para explotar la restricción consiste en una mejor programación de la producción, reducción de lote de transferencia de proceso a proceso, programación de la cantidad de trabajo para cada uno de los operarios en la jornada, la preparación del proceso y la fijación de turnos en la hora de almuerzo de los

operarios lo que contribuye a agilizar el proceso de fritura y permitir que se trabaje a su máxima capacidad el 100% del tiempo. Dicha propuesta se puede considerar como una solución al problema y así mejorar los niveles de producción de la empresa, tomando en cuenta que en base a los indicadores de TOC el Beneficio Neto de la empresa aumentaría de \$15 333,09 a \$ 17 392,14 al cumplir en cantidad y a tiempo todos los pedidos de los clientes.

Cabarcas, Ardila and Mejía (2010), a través de su investigación: *Mejoramiento del flujo y aumento de la capacidad de prestación de servicios de un taller de reparación y mantenimiento automotriz, a través de estrategias basadas en los principios de la teoría de restricciones*, este artículo presenta resultados obtenidos a partir del estudio de las condiciones de prestación de servicios de un taller de reparación automotriz, donde se determinó que debido a la insuficiente capacidad de respuesta ante la demanda creciente, se presentan retrasos en la entrega de los vehículos, lo cual generaba baja satisfacción a clientes, trabajadores y accionistas. Esta problemática fue resuelta mediante los principios de la teoría de restricciones, donde se busca que la empresa logre su meta, la cual es generar dinero ahora y en el futuro. Como primera medida se identificó que el eslabón más débil dentro de la cadena de prestación de servicios, era Latonería, a través de un análisis de la capacidad de cada uno de los servicios versus la demanda, además de un análisis del impacto de las restricciones en la generación de throughput. Así se generaron estrategias para obtener el mayor rendimiento del recurso restrictivo a través de estudios de los métodos de trabajo, es decir, encontrar la capacidad oculta del sistema y aprovecharla para así apoyar la estación cuello de botella. Por último se generaron propuestas para aumentar la capacidad de la restricción a largo plazo, es decir, a través de una inversión estratégica.

Gómez and Jiménez (2009), a través de su investigación: *Gestión de Proyectos con Teoría de Restricciones aplicada al área técnica de la Compañía Construcciones y Servicios S. A.*, hace referencia al grupo Construcciones y Servicios que se concentran en los proyectos de construcción, su montaje y mantenimiento y es ésta la organización en la que se desarrolla el trabajo objeto de este artículo. Una de las actividades más importantes dentro de la ejecución de proyectos de construcción es asegurar que los contratistas estén preparados para ejecutar lo contratado en el momento programado y con las características pactadas, pero depende del equipo de trabajo de la obra hacer las contrataciones a tiempo antes del día de inicio de cada actividad. No obstante, en el medio no existen herramientas de seguimiento y control que permitan asegurar la eficacia en la contratación para que se realice de manera oportuna. Este artículo permite evidenciar la experiencia de Construcciones y Servicios S. A. en la aplicación de los elementos propios de la solución para gerencia de proyectos de TOC (Theory of Constraints o Teoría de restricciones, Cadena Crítica) a la gestión de la contratación ejecutada como un proyecto de resultados exitosos.

Linhares (2009), a través de su investigación: *Theory of constraints and the combinatorial complexity of the product-mix*, establece que cuando la producción está limitada por un cuello de botella única, la mejor combinación heurística de productos es la selección de productos en base a su relación de rendimiento por restricción uso. Así mismo este trabajo muestra una cierta contraparte a la teoría de restricciones, estableciendo que hay casos en los que la mezcla óptima de productos incluye productos con el margen más bajo del producto y la proporción más baja de rendimiento por limitaciones de tiempo.

Abisambra and Mantilla (2008) a través de su investigación: *Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) a los procesos de producción de la planta de fundición de Imusa*, hace referencia a la planta de fundición de IMUSA S.A., al igual que muchas plantas productivas del sector metalmeccánico que exportan sus productos, cuenta con procesos complejos y cambiantes. Además de ser flexible a las diferentes exigencias del mercado, debe estar preparada para una demanda constantemente variable. En este artículo se describe la situación actual de la planta de fundición y se expone una aplicación práctica para la reducción de inventarios, el mejoramiento del flujo de caja y de capital con la metodología de Teoría de Restricciones (TOC). Este artículo se convierte en una guía para las posibles mejoras que se pueden obtener en una planta, siguiendo los pasos de TOC y utilizando los recursos en el momento correcto. Este trabajo se basa en una planta en particular, pero las mejoras y cambios se pueden aplicar a cualquier sector industrial o de servicio.

## **2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.**

### **2.2.1. PRODUCCIÓN.**

El termino producción puede ser empleado con diferentes significados. Si se refiere a la producción de bienes materiales demandados por la sociedad, es decir, bienes de consumo (como alimentos, automóviles, etc.), o de inversión (como máquinas, herramientas, etc.) estamos excluyendo la producción de servicios (como la educación, el comercio, etc.), que también es objeto de producción.

Así, el termino producción en su sentido más amplio engloba una serie de funciones necesarias para que una empresa u organización realice una actividad económica-social, independiente de que estemos hablando de una empresa de producción o de servicios, transformando materiales y/o recursos en productos / servicios.

### **2.2.2. PRODUCTIVIDAD.**

La productividad según Higuera (1963) es el grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar objetivos predeterminados.

Así mismo Hansen (2006), hace referencia a productividad, con relación a la importancia de su medición, estableciendo que esta es la evaluación cuantitativa de los cambios en la productividad. Teniendo como objetivo evaluar si la eficiencia productiva aumenta o disminuye. La medición de la productividad real permite evaluar, vigilar y controlar cambios. La medición prospectiva mira hacia delante y sirve como un insumo para la toma de decisiones estratégicas. De manera específica, la medición prospectiva permite comparar los beneficios relativos de diferentes combinaciones de insumos, eligiendo insumos y las mezclas de estos que proporcionen el beneficio mayor. Se pueden desarrollar medidas (indicadores) de productividad para cada insumo separado o para todos los insumos de manera conjunta. La medición de la productividad para un insumo a la vez recibe el nombre de medición parcial de la productividad.

**Productividad = (Productos o Servicios Producidos) / (Recursos Utilizados).**

Para la medición de la productividad en una empresa se tiene las siguientes fórmulas:

$$\text{Productividad materiales: } \frac{\text{Materia prima que sale (procesada)}}{\text{Materia prima que ingresa}}$$

$$\text{Productividad de mano de obra: } \frac{\text{Materia prima que sale (procesada)}}{\text{Mano de obra}}$$

$$\text{Productividad económica: } \frac{\text{Materia prima que sale (procesada)}}{(\text{Mano de obra} \cdot \text{costo}) + (\text{materia prima ingresa} \cdot \text{costo}) + \text{insumos empleados} \cdot \text{costo}}$$

Entonces, para hallar el incremento de la productividad tenemos:

$$\text{Variación Productividad : } \frac{\rho \text{ propuesta} - \rho \text{ actual}}{\rho \text{ actual}} * 100$$

### 2.2.3. EFICIENCIA.

Hansen (2006), la eficiencia es el punto en el cual se satisfacen dos condiciones: para cualquier mezcla de insumos que habrá de dar lugar a una producción determinada, para elaborar el producto se utiliza solo la cantidad necesaria de cualquier insumo y que dadas las mezclas que satisfacen la primera condición, se eligen las menos costosas. La primera condición es impulsada por relaciones técnicas y por lo tanto recibe el nombre de eficiencia técnica. La segunda condición es impulsada por las relaciones relativas de los precios de los insumos y, por lo tanto, recibe el nombre de eficiencia distributiva.

## **2.2.4. TEORÍA DE RESTRICCIONES.**

La teoría de restricciones (TOC) es un método sistemático de administración que se centra en administrar activamente las restricciones que impiden el progreso de la empresa hacia su meta de maximizar el total de fondos o ventas con valor agregado menos los descuentos y los costos variables.

El proceso se centra no solo en la eficiencia de los procesos individuales, sino también en los cuellos de botella que limitan el sistema en su conjunto.

Lo que busca la teoría de restricciones es identificar los cuellos de botella constantemente y generar planes para que estos dejen de serlo, es un método que garantiza un ritmo de producción constante. Debido a que, siempre se buscará la forma que las estaciones de producción no dejen de estar abastecidas para que no sean paralizadas.

### **2.2.4.1. Principios fundamentales del proceso de mejora continua de la TOC:**

1. *Identificar la limitación o cuello de botella condicionante.*
2. *Explotar la restricción*, con acciones como: eliminar el máximo los paros en ella, no producir más de lo necesario, realizar los controlar de calidad antes de procesar en un cuello de botella, etc.). implica buscar la forma de obtener la mayor producción posible de la restricción.
3. *Subordinar* la actividad de todos los recursos del sistema a la que puede desarrollar el recurso condicionante.
4. *Elevar al máximo la capacidad* de dicho recurso, apoyándolo. Solo ahora, cuando ha finalizado los pasos anteriores, es cuando se ha de elevar la limitación si se necesita más capacidad.
5. Cuando una restricción ha dejado de serlo, debido a las acciones anteriores, si se desea que el sistema mejore aún, se debe volver a iniciarse esta metodología por pasos, comenzando de nuevo por el primero.

#### 2.2.4.2. Producción: Cómo Mejorar con TOC:

De acuerdo a la teoría de restricciones, el punto de partida de todo análisis es ganar dinero, para hacerlo es necesario elevar el throughput (tasa de generación de dinero a través de las ventas); el cual está limitado por los cuellos de botella el cual concentra su atención y su metodología en ellos. Producir para lograr un aprovechamiento integral de la capacidad instalada, lleva a la planta industrial en sentido contrario a la meta si esas unidades no pueden ser vendidas porque permanece constante el throughput. E. Goldratt sostiene que todo el mundo cree que una solución a esto sería tener una planta balanceada; entendiendo por tal, una planta donde la capacidad de todos y cada uno de los recursos está en exacta concordancia con la demanda del mercado.

Se identifican 2 tipos de restricción:

- **Las restricciones físicas:** Escasez de materias primas, una máquina muy cargada, personal con falta de una habilidad determinada, el mercado, etc.
- **Las restricciones de política:** Políticas de fijación de precios, enfoque incorrecto en la comisión de ventas (vender el producto equivocado), medidas de producción que inhiben el buen desempeño de la producción y políticas de personal que promueven el conflicto entre las personas o áreas de producción.

La mejora en la TOC se refiere a la búsqueda de la “meta” de la empresa. Para lograr la meta más rápidamente es necesario romper con varios paradigmas. Los más comunes son:

- Operar el sistema como si se formara de “eslabones” independientes, en lugar de una cadena.
- Tomar decisiones, entre ellas la fijación de precios, en función del costo contable, en lugar de hacerlo en función de la contribución a la meta (Throughput).
- Requerimientos de una gran cantidad de datos cuando se necesitan de pocos relevantes.
- Copiar soluciones de otros sistemas en lugar de desarrollar soluciones propias en base a metodologías de relaciones lógicas de “efecto-causa-efecto”.

#### 2.2.4.3. La aplicación de la teoría de restricciones a producción: Drum – Buffer – Rope (DBR).

La solución genérica de TOC para escenarios productivos operativiza estos aspectos a partir de un sistema y método de gestión basado en estos tres conceptos: Drum (tambor), buffer (amortiguador) y rope (cuerda) y es aplicable a todos los tipos de procesos.

- **Drum:** El tambor del sistema se refiere al “ritmo de tambor” o ritmo de producción. Esencialmente, representa el programa maestro para la operación, el cual enfoca alrededor de la tasa de rendimiento que define la restricción. (Permite explotar la limitación).
- **Buffer:** Dada la importancia de evitar que una restricción este “hambrienta” por falta de inventario, muchas veces se establece antes de ella un amortiguador de “tiempo” que se necesita para mantener activo el recurso restringido a lo largo de un intervalo de tiempo especificado (Cuándo lanzar, desacopla la limitación respecto de las incertidumbres de los otros recursos para que no le afecten.).
- **Rope:** Son acciones que se toman para vincular la tasa a la cual se libera el material hacia la planta. (Cuánto lanzar, evita que los otros recursos procesen lo que la limitación no requiere.).

**En DBR se programan los siguientes puntos:**

- **Programa de entregas:** Define la secuencia en que los productos deben salir del sistema, es decir, protege al cliente y programa fechas ciertas de cumplimiento.
- **Programa de la limitación:** Como ha quedado expuesto el flujo va a ser el que permita la gestión de la limitación. La planta no va producir más de lo que la limitación produzca y un minuto perdido en la limitación es un perdido en el flujo y, por lo tanto, en la facturación. La programación de la limitación se genera a partir del programa de entregas, de forma que, a partir del establecimiento de una cuerda con su buffer puedo programar cuándo debe procesarse un producto en la limitación para garantizar que en una fecha determinada se entregue.
- **Programa de lanzamientos:** La subordinación del resto de recursos a la explotación de la limitación requiere, como hemos visto anteriormente, que los lanzamientos en planta tengan definidos el cuánto y cuándo lanzar. A partir del establecimiento de una cuerda con su buffer programo cuándo

debe lanzarse aquello que debe procesar la limitación para garantizar que haya llegado a ella en el momento previsto en su programa.

**Objetivos de mejora abordables con DBR:**

La implantación de DBR permite plantearse y alcanzar objetivos de mejora en, por lo menos, cinco grandes áreas que se resumen en el siguiente cuadro:

**Tabla N° 1: Objetivos de mejora abordables con la implantación de la aplicación de TOC en producción (DBR)**

<b>Objetivos de mejora abordables con la implantación de la aplicación de TOC en producción (DBR)</b>			
<b>Áreas de mejora</b>	<b>Conocer</b>	<b>Explotar</b>	<b>Mejorar</b>
Gestión de la capacidad	Conocer la capacidad máxima del sistema productivo. Conocer el throughput y beneficios máximos del sistema productivo. Orientar las decisiones de aceptación de pedidos y objetivos de producción.	Producir el 100% de capacidad disponible. Conseguir un menor costo unitario. Mejorar la capacidad de respuesta ante urgencias con menor generación de ruido.	Aflorar capacidad oculta en el sistema productivo.
Gestión del plazo	Conocer el plazo que puede conseguir el sistema productivo. Dar fechas de entrega al mercado.	Cumplir las fechas de entrega.	Disponer de mayor protección para el cumplimiento de las fechas de entrega. Reducir los plazos de entrega ofrecidos al mercado.
Gestión de inventarios	Dimensionamiento óptimo del inventario de producto en curso, con lo cual: Mejora la capacidad de respuesta del sistema. Se reducen los costes – financieros, de mantenimiento y de gestión del exceso de inventario.		
Mejora de procesos	Focalización de los esfuerzos de mejora de procesos hacia aquellos que más benefician al conjunto del sistema: Mejora de procesos: mejor explotación de la limitación, aflorando capacidad oculta en el sistema y mejorando la calidad para evitar reprocesos. Mejora de los procesos que afectan al cumplimiento del programa. Mejora de los procesos que afectan al cumplimiento del programa de entregas.		
Comunicación interna y trabajo en equipo	Eliminación de conflictos y trabajo en equipo entre comercial y producción. Alineación de los óptimos locales de producción con el óptimo global.		

Fuente: Villagómez and Viteri. 2014.

#### 2.2.4.4. Medidas de la teoría de restricciones:

TOC define tres medidas, relacionadas con el flujo de dinero, que tienden un puente entre las acciones y las medidas financieras, aportando unos parámetros que permiten evaluar las operaciones que se realizan en planta:

- **Throughput (T):** Tasa de generación de dinero a través de las ventas. El Throughput asociado a un producto se define matemáticamente con la siguiente fórmula:

$$T = N (PV - CV) \text{ (soles).}$$

Siendo:

T = Throughput.

N = Cantidad de unidades en un período.

PV= Precio venta del producto.

CV= Costos variable. Aquellos que aumentan directamente proporcional con el volumen de ventas, tales como: materia prima y componentes, servicios de terceros, comisiones por ventas, etc.

- **Inventario (I):** Dinero que le sistema ha invertido en adquirir cosas que luego pretende vender.
- **Gastos operativos (OE):** Dinero que gasta el sistema en convertir el inventario en throughput.

#### 2.2.4.5. Mejora continua en la Teoría de Restricciones:

Está basada en el simple hecho de que los procesos de cualquier ámbito, solo se mueven a la velocidad del paso más lento. La manera de acelerar el proceso es determinar el paso más lento y lograr que trabaje hasta el límite de su capacidad para acelerar el proceso completo. La teoría hace énfasis en diluir, hallar y apoyar el principal factor limitante. En la descripción de esta teoría estos factores limitantes se denominan restricciones o "cuellos de botella".

Por supuesto las restricciones pueden ser un individuo, un equipo, la pieza de un equipo o una política local.

Siendo las restricciones factores que bloquean a la empresa en la obtención de más ganancias, toda gestión que apunte a ese objetivo debe estar focalizada en las restricciones.

#### **2.2.4.6. Usos y beneficios de la Teoría de Restricciones:**

TOC tiene amplias aplicaciones en las organizaciones. Como tal, sus beneficios se cruzan varios límites y funciones, lo que resulta en usos y beneficios que incluyen:

- ***Aumento de la productividad:*** Debido a que se eliminarán los cuellos de botella.
- ***Cumplimiento de plazos de entrega:*** Porque se tendrá un sistema de producción equilibrado.
- ***Reducción de costos:*** Se verá reflejado porque disminuirá el exceso de recursos en las estaciones de producción.
- ***Aumento de la eficiencia:*** Una mejor gestión de los recursos.
- Mejora de la calidad de los productos y servicios.
- Un aumento en la rentabilidad.
- Reducción de los niveles de inventario.
- Gestión de limitaciones.
- Mejorar la posición competitiva.
- La facilitación del marketing estratégico y operativo.
- Aplicación de la mejora continua en el nivel de la cadena de suministro.

TOC tiene amplias aplicaciones en organizaciones de manufactura, pero también se puede utilizar con eficacia para mejorar el rendimiento en las áreas fuera de la manufactura, como la comercialización y la administración.

### **2.3. METODOLOGÍA PARA REALIZAR UN DIAGNÓSTICO EN LA EMPRESA:**

#### **2.3.1. Medición del trabajo.**

Para Kanawaty (2006), la medición del trabajo es un método investigativo basado en la aplicación de diversas técnicas para determinar el contenido de una tarea, definida por el tiempo que un trabajador calificado invierte en llevarla a cabo en condiciones normales es decir considerando un rendimiento

preestablecido. Tiene como objetivos: Incrementar la eficiencia del trabajo y proporcionar estándares de tiempo que servirán de información a otros sistemas de la empresa, como el de costos de programación de la producción, supervisión, etc.

➤ **Importancia y necesidad de la medición del trabajo:**

Para Barnes (1961), esta importancia radica en la creciente necesidad de aprovechar mejor la mano de obra y reducir los costos de la producción, siendo necesaria para una mejor utilización de los recursos humanos y materiales.

Al analizar los factores que conforman los costos industriales, se nota que además de las materias primas y los gastos de elaboración, juega un papel importante el costo de mano de obra, el supervisor siente la necesidad de saber si está empleando de manera eficiente el esfuerzo de los operadores y si cada una de las operaciones realizadas por éstos es ejecutado en el tiempo recto.

➤ **Desarrollo del estudio de tiempos y relación con la simplificación del trabajo.**

Taylor (1881), aportó las bases del sistema actual de la medición del trabajo a través del análisis científico de cada una de las operaciones que integran un trabajo con el objeto de encontrar la mejor manera de ejecutarlo por medio de la determinación del mejor método de ejecución, como la estandarización de los métodos, materiales, herramientas, equipo y condiciones de trabajo y la exacta determinación del tiempo que un operador calificado normalmente necesita para ejecutar un trabajo.

Antes de hacer el estudio de tiempos se procede a analizar los movimientos empleados en la ejecución de una tarea, con el objetivo de eliminar aquellos que fueran innecesarios y ordenar los útiles, para así obtener la eficiencia máxima. Con el fin de simplificar el trabajo se puede hacer un análisis del mismo, que conduce a: eliminar todo trabajo innecesario, combinar las operaciones o sus elementos, cambiar la secuencia de operaciones, simplificar las operaciones.

Los beneficios que otorga estos tiempos son:

**1. Reducir costos:** Cuando se elimina el trabajo improductivo y los tiempos ociosos, la razón de rapidez de producción es mayor, esto es, se produce mayor número de unidades en el mismo tiempo.

**2. Mejorar las condiciones obreras:** Los tiempos estándar permiten establecer sistemas de pagos de salarios con incentivos, en los cuales los obreros, debido a que producen un número de unidades superiores a la cantidad obtenida a la velocidad normal, perciben una remuneración extra.

### 2.3.2. Estudio de trabajo.

#### ➤ **Técnicas del estudio del trabajo y su interrelación.**

Según Kanawaty (2006), la expresión estudio de trabajo comprende varias técnicas, y en especial el estudio de métodos y la medición del trabajo. Estableciendo así que el estudio de métodos es el registro y examen crítico sistemáticos de los modos de realizar actividades, con el fin de efectuar mejoras. Mientras que por otro lado la medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea según una norma de rendimiento preestablecida. Por ello que el estudio de métodos y la medición de trabajo están, pues, estrechamente vinculados. El estudio de métodos se relaciona con la reducción del contenido de trabajo de una tarea u operación. En cambio, la medición del trabajo se relaciona con la investigación de cualquier tiempo improductivo asociado con está, y con la consecuente determinación de normas de tiempo para ejecutar la operación de una manera mejorada, tal como ha sido determinada por el estudio de métodos.

#### ➤ **Procedimiento básico para el estudio del trabajo**

Es preciso recorrer ocho etapas fundamentales para realizar un estudio del trabajo:

1. Seleccionar: El trabajo o proceso que se ha de estudiar.
2. Registrar: O recolectar todos los datos relevantes acerca de la tarea o proceso.
3. Examinar: Los hechos registrados con espíritu crítico, preguntándose si se justifica lo que se hace.
4. Establecer: El método más económico, teniendo en cuenta todas las circunstancias y utilizando las diversas técnicas de gestión.
5. Evaluar: Los resultados obtenidos con el nuevo método en comparación con la cantidad de trabajo necesario y establecer un tiempo tipo.
6. Definir: El nuevo método y el tiempo correspondiente, y presentar dicho método.
7. Implantar: El nuevo método, formando a las personas interesadas, como práctica general aceptada con el tiempo fijado.
8. Controlar: La aplicación de la nueva norma siguiendo los resultados obtenidos y comparándolos con los objetivos.

### **2.3.3. Muestreo del trabajo:**

#### **➤ Necesidad del muestreo del trabajo.**

Krajewski (2000) establece que el muestreo del trabajo, conocido también como muestreo de actividades, es una técnica que, como su nombre lo indica se basa en el muestreo. Siendo de utilidad para obtener una visión completa y exacta del tiempo productivo y del tiempo inactivo de todas las etapas de producción. Para esto es necesario realizar una serie de recorridos del área de producción a intervalos aleatorios observando cómo operaran los trabajadores y las máquinas. He aquí la base de la técnica de muestreo del trabajo. Si el tamaño de muestra es suficientemente grande y las observaciones se realizan constantemente por disponibilidad, existe una probabilidad elevada de que dichas observaciones reflejen la situación real, con un margen determinado de error por exceso o por defecto.

#### **➤ El muestreo por selección intencionada o muestreo de conveniencia.**

Vivanco (2005) establece que el muestreo por selección intencionada o muestreo de conveniencia, consiste en la elección por métodos no aleatorios de una muestra cuyas características sean similares a las de la población objetivo. En este tipo de muestreos la “representatividad” la determina el investigador de modo subjetivo, siendo este el mayor inconveniente del método ya que no podemos cuantificar la representatividad de la muestra. Teniendo en consideración tres puntos importantes: accesibilidad, disponibilidad de recursos y disponibilidad de tiempo.

### **2.3.4. Balance de líneas de producción:**

A la línea de producción, según Munier (1973), se le reconoce como el principal medio para fabricar a bajo costo grandes cantidades o series de elementos normalizados.

En su concepto más perfeccionado según Chase (2009), la producción en línea es una disposición de áreas de trabajo donde las operaciones consecutivas están colocadas inmediata y mutuamente adyacentes, donde el material se mueve continuamente y a un ritmo uniforme a través de una serie de operaciones equilibradas que permiten la actividad simultánea en todos los puntos, moviéndose el producto hacia el fin de su elaboración a lo largo de un camino razonadamente directo.

Para García (2005), deben existir ciertas condiciones para que la producción en línea sea práctica.

**1. Cantidad:** El volumen o cantidad de producción debe ser suficientes para cubrir el costo de la preparación de la línea. Esto depende del ritmo de producción y de la duración que tendrá la tarea.

**2. Equilibrio:** Los tiempos necesarios para cada operación en la línea deben ser aproximadamente iguales.

**3. Continuidad:** Una vez iniciadas, las líneas de producción deben continuar pues la detención en un punto corta la alimentación del resto de las operaciones. Esto significa que deben tomarse precauciones para asegurar un aprovisionamiento continuo del material, piezas, sub ensambles, etc., así como la falla de sus equipos.

Entonces se tiene que conocidos los tiempos de las operaciones se debe determinar el número de operadores necesarios para cada operación, así como también conocido el tiempo de ciclo, minimizar el número de estaciones de trabajo y finalmente que conocido el número de estaciones de trabajo, asignar elementos de trabajo a las mismas.

➤ **Indicadores en el balance de línea:**

Según Rojas (1996), los indicadores que se deben calcular y tener en cuenta para tener una línea de producción equilibrada son: Producción, tiempo muerto, eficiencia. Los cuales se calculan de la siguiente manera.

○ **Producción:**

$$\text{Producción} = \frac{\text{Tiempo base}}{\text{ciclo}} = \frac{tb}{c}$$

○ **Tiempo muerto:**

$$Tm = c - t$$

$$\text{Tiempo muerto} = \text{Tiempo de ciclo} - \text{tiempo de operación}$$

Dónde:

$$t = \text{Tiempo de preparación} + \text{tiempo de máquina} = L + M$$

Así mismo:

$$\text{Tiempo muerto} = \text{Número de estaciones} - \text{tiempos totales}$$

$$tm = k_c - \sum t$$

Y finalmente:

$$\text{Eficiencia: } \frac{\text{Producción obtenida}}{\text{Entrada de materia prima}}$$

### III. DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.

#### 3.1. LA EMPRESA.

La empresa “Tubos y Postes Chiclayo S.R.L.”, constituida en el año 2004, ha logrado consolidarse en el mercado nacional. Se dedica a la elaboración de postes de concreto armado centrifugado (PCAC<sup>1</sup>) y accesorios de concreto vibrado, siendo los materiales utilizados para su elaboración de calidad, las mismas que cumplen con la norma técnica peruana: N.T.P. 339-027-INDECOPI-2002, 2da Edición y DGE/MEM: 015-PD-1-2004-N.T.V. En cuanto a instalaciones, esta empresa cuenta con un área de 10 000 m<sup>2</sup>, que comprende tres plantas de producción: una planta alta en donde se fabrica postes de media – alta tensión, planta baja en donde se fabrica los postes de baja tensión y área de accesorios de concreto vibrado. La maquinaria con que cuenta la empresa son máquinas centrifugadoras, mezcladoras y arcos eléctricos.

#### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.

##### 3.2.1. PRODUCTOS:

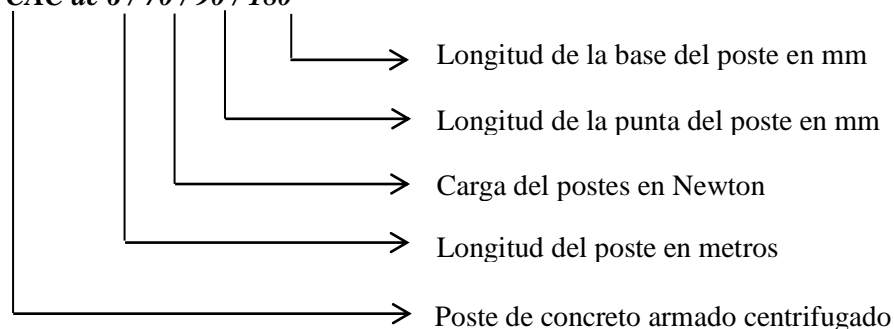
###### a. Descripción del producto:

Los postes de concreto armado son centrifugados y tienen forma troncocónica; el acabado exterior debe ser homogéneo, libre de fisuras, cangrejas y escoriaciones. La relación de la carga de rotura (a 0,15 m debajo de la cima) y la carga de trabajo será igual o mayor a 2.

A 3 m de la base del poste, en bajo relieve, deberá implementarse una marca que permita inspeccionar la profundidad de empotramiento luego de instalado el poste.

Los postes deberán llevar impresa con caracteres legibles e indelebles y en lugar visible: marca o nombre del fabricante, designación del poste (longitud, carga de trabajo, diámetro de la cima y diámetro de la base).

###### *Poste de CAC de 6 / 70 / 90 / 180*



<sup>1</sup> Poste de concreto armado centrifugado.



**Figura N° 1: Postes de concreto armado centrifugado.**

Fuente: Empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.”.

**Tabla N°2: Datos técnicos del poste de concreto armado centrifugado.**

<b>Datos técnicos del poste de concreto armado centrifugado</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor requerido</b>	<b>Valor garantizado</b>
1	Fabricante			TPCH
2	Proceso de fabricación		NTP 330.027	NTP 330.027
3	Longitud total	M	7	7
4	Carga de trabajo	daN	200	200
5	Diámetro de la punta	mm	120	120
6	Diámetro de la base	mm	225	225
7	Conicidad	mm/m	15	15
8	Tipo de cemento		MS o Tipo II	MS
9	Relación agua – cemento		$\leq 0,45$	$\leq 0,45$
10	Curado		$> 8$ días	$> 8$ días
11	Varillas		Ver NTP 330.027	Ver NTP 330.027
12	Aditivo inhibidor de corrosión		Si	Si
	Tipo de inhibidor de corrosión		Compuesto químico multifuncional (Funcionamiento catódico como anódico) deberá ser	SIKA FERROGARD 901
13	Aditivo impermeabilizante		Se aplicará en todo el poste	CHEMA FLEX
14	Protección en la zona de empotramiento		Recubrimiento sistema duplo(Hidrófugo silano siloxano + pintura	IGOL PRIMER IGOL DENSO

			acrílica)	
15	Agujeros pasantes		Si	Si
16	Acabado		Superficie limpia, fina, libre e resane y fisuras	Superficie limpia, fina, libre e resane y fisuras
17	Adjuntar		Diseño y croquis estructural	Si
18	Rotulado		Bajo relieve	Bajo relieve
	Marca o nombre del fabricante		Si	Si
	Año de fabricación		Si	Si
	Designación del poste		7/200/120/225	7/200/120/225
	Señalización		Si	Si
19	Coefficiente de seguridad		2	2
20	Garantía de fabricación	Años	10	10
21	Recubrimiento mínimo sobre el fierro	mm	25	25
22	Coefficiente de absorción de humedad	%	4	4
23	Resistencia concreto	Kgf/cm <sup>2</sup>	285	285

Fuente: Empresa "Tubos y postes Chiclayo S.R.L."

#### b. Productos complementarios:

Los productos complementarios con los que cuenta la empresa son:

- ✓ Cruceta simétrica.



**Figura 2: Cruceta simétrica.**

Fuente: Empresa "Tubos y postes Chiclayo S.R.L."

- ✓ Cruceta asimétrica.



**Figura 3: Cruceta asimétrica.**

Fuente: Empresa "Tubos y postes Chiclayo S.R.L."

- ✓ Media loza.



**Figura 4: Media loza.**

Fuente: Empresa "Tubos y postes Chiclayo S.R.L."

- ✓ Ménsula.



**Figura 5: Ménsula.**

Fuente: Empresa "Tubos y postes Chiclayo S.R.L."

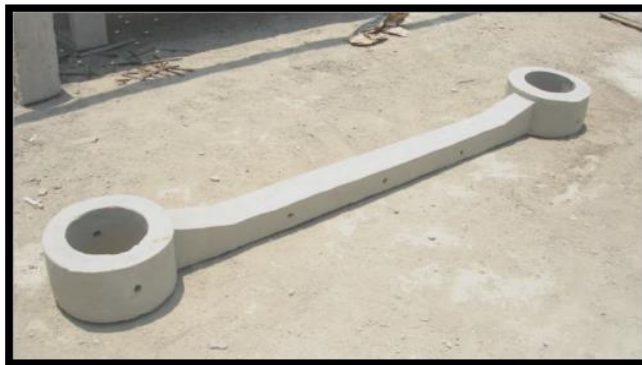
- ✓ Palomilla simple.



**Figura 6: Palomilla simple.**

Fuente: Empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.”.

- ✓ Palomilla doble.



**Figura 7: Palomilla doble.**

Fuente: Empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.”.

- ✓ Bloques de concreto.



**Figura 8: Bloques de concreto.**

Fuente: Empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.”.

- ✓ Ductos de concreto.



**Figura 9: Bloques de concreto.**

Fuente: Empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.”.

Las crucetas, plataformas, ménsulas y otros accesorios de concreto armado vibrado, se fabrican en moldes de acero, los que una vez llenado el concreto con la armadura son sometidos a una vibración como medio mecánico de compactación.

En la preparación del concreto se emplea aditivos (cemento gris y blanco, chema) inhibidores de corrosión. Una vez terminado este proceso los moldes llenos y vibrados son llevados al área de secado, bajo sombra, después del proceso de secado se procede a desmoldar y el producto es llevado a la poza de curado.

Las características de cada uno de estos accesorios están de acuerdo a la norma nacional: Norma de postes, crucetas y ménsulas de madera y concreto armado para redes de distribución (código nacional de electricidad y Nomas IEC).

**c. Desechos:**

En el proceso de elaboración de postes de concreto no se cuenta con desechos.

**d. Desperdicios:**

Los desperdicios son el concreto, fierro, alambre, material de cantera.

**3.2.2. MATERIALES E INSUMOS:**

**3.2.2.1. Materiales:**

**A. Materiales Directos:**

La materia prima utilizada en la elaboración de postes es:

**Tabla N° 3: Materiales utilizados para la elaboración de postes de CAC.**

<b>Materia prima</b>	<b>Características</b>
Fierro (tn)	Fierro de acero ½"
	Fierro de acero 3/8"
	Fierro de acero 5/8"
Alambre	Alambre N° 16
	Alambre N° 8
	Alambre N° ¼
Material de cantera (m <sup>3</sup> )	Confitillo
	Arena gruesa
	Arenilla
	Piedra ½
Cemento (Kg)	Bolsas

Dentro de los materiales directos se considera el agua debido a la participación de esta en el proceso de curado del poste, es decir que sirve para impedir la rápida evaporación del agua de amasado, suavizando la retracción y evitando el agrietamiento de la superficie del poste.

Por otro lado, también se utiliza aditivos para proteger al poste de la humedad o cualquier otra sustancia y cemento gris y blanco para el proceso de acabado del poste.

Se tiene en ocasiones el retraso de la materia prima, esto debido a que no realizan una planificación de la compra y en algunos casos los proveedores tardan en hacer llegar la materia prima a planta, lo que ocasiona que no se llegue a fabricar al día lo establecido y conlleve a la realización de horas extras.

#### **B. Materiales Indirectos:**

Dentro de esta clasificación de materiales se tiene a los tubos utilizados para realizar los agujeros a los postes en la parte superior, el aceite que se utiliza en los moldes para que el concreto no se pegue en estos y la pintura de recubrimiento que sirve para pintar la base del poste, esto se da si el cliente lo solicita.

### **3.2.2.2. Insumos:**

#### **A. Mano de obra:**

Para la elaboración de postes de concreto es necesaria la intervención de mano de obra, por lo cual la empresa cuenta con 32 trabajadores en toda el área de producción. Se trabaja un turno de 8 horas diarias.

#### **B. Financieros:**

Esta empresa ha logrado consolidarse en el mercado nacional con sus productos, lo que le ha permitido colocar sus productos en varias ciudades de nuestro país. Es una de las mejores empresas dedicada a la elaboración de postes. Por lo cual se busca la mejora continua de sus procesos para lograr producir en mayor cantidad y obtener mayores beneficios. Con un promedio de ventas de 500 000 soles al mes.

#### **C. Maquinarias y equipos:**

Dentro de la maquinaria que forma parte del proceso de elaboración de postes se tiene: 3 máquinas mezcladoras, 6 arcos eléctricos y 3 centrífugas. Y los equipos que también intervienen son: Palanas, carretillas, soldadoras.

**Tabla N° 4: Características de la maquinaria.**

<b>Equipo</b>	<b>Potencia</b>	<b>Hp</b>	<b>Código</b>	<b>Motor tipo</b>	<b>Características</b>	<b>Etapas / ubicación</b>
Motor 01	3.0 kW	4	2e15o14251	1473.v2o	Motor trifásico	Traslado de postes / arco n° 1 y 2
Motor 02	2.0 kW	3	ev65.l4	1473.e1l	Motor trifásico	Traslado de postes / arco n° 3 – 4 – 5 - 6
Motor 03	29.84 kW	40	2e15o14224	1836.e2t	Motor trifásico	Mezcladora 1
Motor 04	11.19 kW	15	2e15o14274	1843.x0p	Motor trifásico	Mezcladora 2-3
Motor 05	17.90 kW	24	2e15o14233	8537.e8d	Motor trifásico	Centrifugadoras

Fuente: Elaboración propia.

#### D. Suministros:

El principal suministro es el agua y la energía eléctrica (227,46 KW/mes) lo cual permite que se logre fabricar los productos.

#### 3.2.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN:

- **Armado de la estructura del molde:** Rollos de alambres son enderezados y cortados a una longitud correcta. Después que los remaches son colocados a ambos extremos, los alambres son montados en forma de una jaula.



**Figura N° 10: Estructura del molde.**

Fuente: Empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.”.

- **Fijado de los moldes:** Placas de extensión y placas terminales son fijadas a la jaula por medio de tuercas de anclaje. Luego la jaula es levantada y colocada sobre la base media del molde.
- **Mezclado:** La finalidad del mezclado es lograr una mezcla homogénea, formada por el cemento y agregados (piedra chancada, arena amarilla, confitillo y arenilla), para evitar la segregación, ya que el buen mezclado es fundamental para la elaboración del poste.
- **Vaciado del concreto:** El concreto es vaciado sobre la base media del molde.
- **Tapado de molde y empernado:** La otra parte del molde (parte media superior) es fijada con pernos a la base media.
- **Centrifugado:** El molde es colocado en la máquina centrífuga automática. Este proceso compacta el cemento y remueve su exceso de agua. Este proceso de centrifugado incrementa la resistencia del concreto.

- **Desmolde:** En esta operación se procede a retirar el poste del molde.
- **Curado:** Tratamiento que se le da al concreto, una vez vaciado, para impedir la rápida evaporación del agua de amasado, suavizando la retracción y evitando el agrietamiento de la superficie del poste, se realiza en posas con agua.



**Figura N° 11: Curado.**

Empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L.”.

- **Acabado:** En esta etapa se realiza el lijado del poste y se coloca los aditivos impermeabilizantes (cemento blanco y gris, Chema) para proteger al poste de la humedad o cualquier otra sustancia. Se pinta el poste según los requerimientos del cliente.



**Figura N° 12: Acabado.**

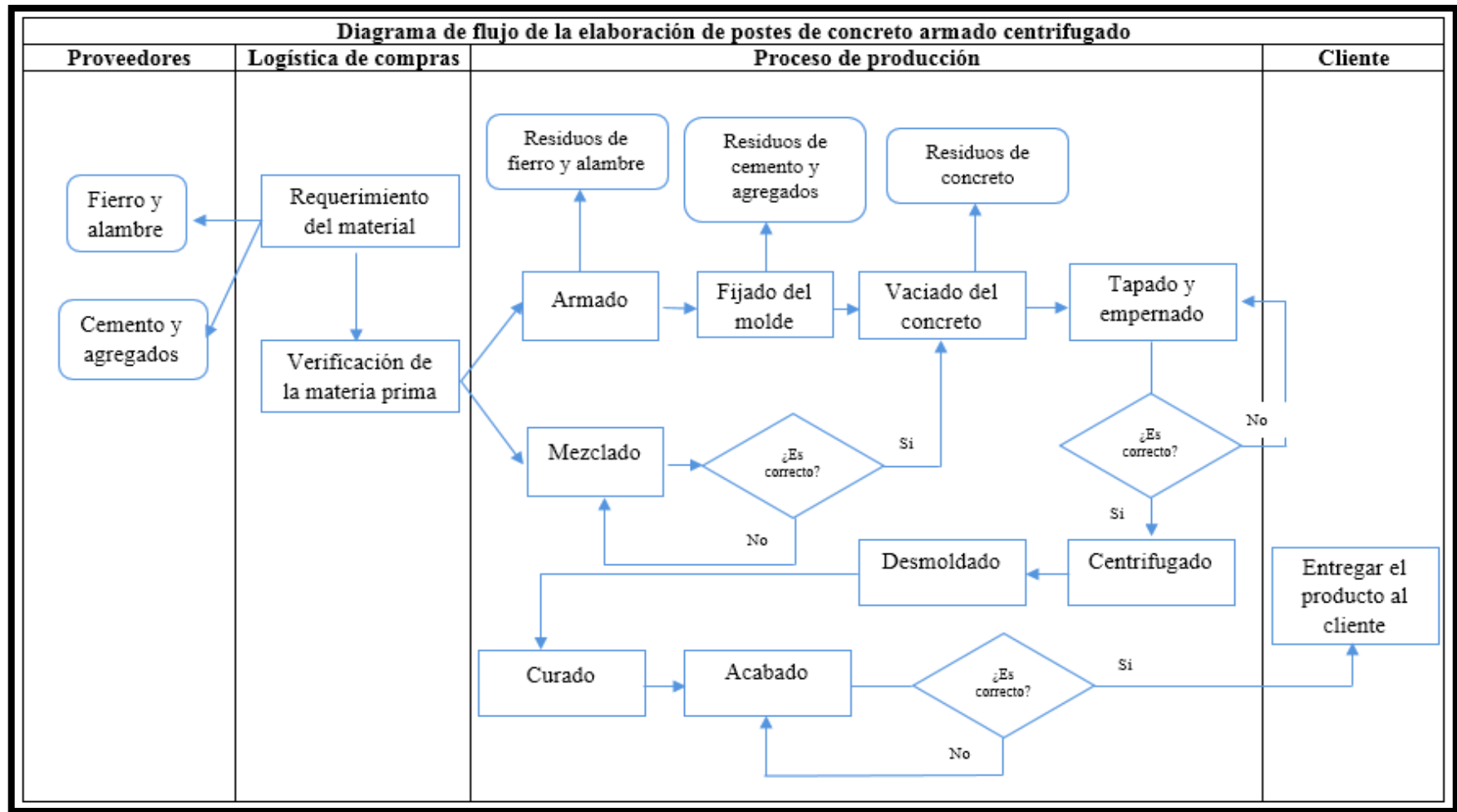
### **3.2.4. SISTEMA DE PRODUCCIÓN:**

Respecto al sistema de ventas la empresa adopta un sistema de producción bajo pedido, debido a que responden a órdenes o pedidos de los clientes. Y con relación a la producción por procesos, lo caracteriza la producción por lotes, ya que se fabrican lotes diferentes del mismo producto y de acuerdo a las especificaciones del cliente.

### **3.2.5. ANÁLISIS PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN:**

#### **3.2.5.1. Diagrama d flujo:**

En la figura N°13 se muestra el diagrama de flujo de la elaboración de postes de concreto armado centrifugado de media y baja tensión.

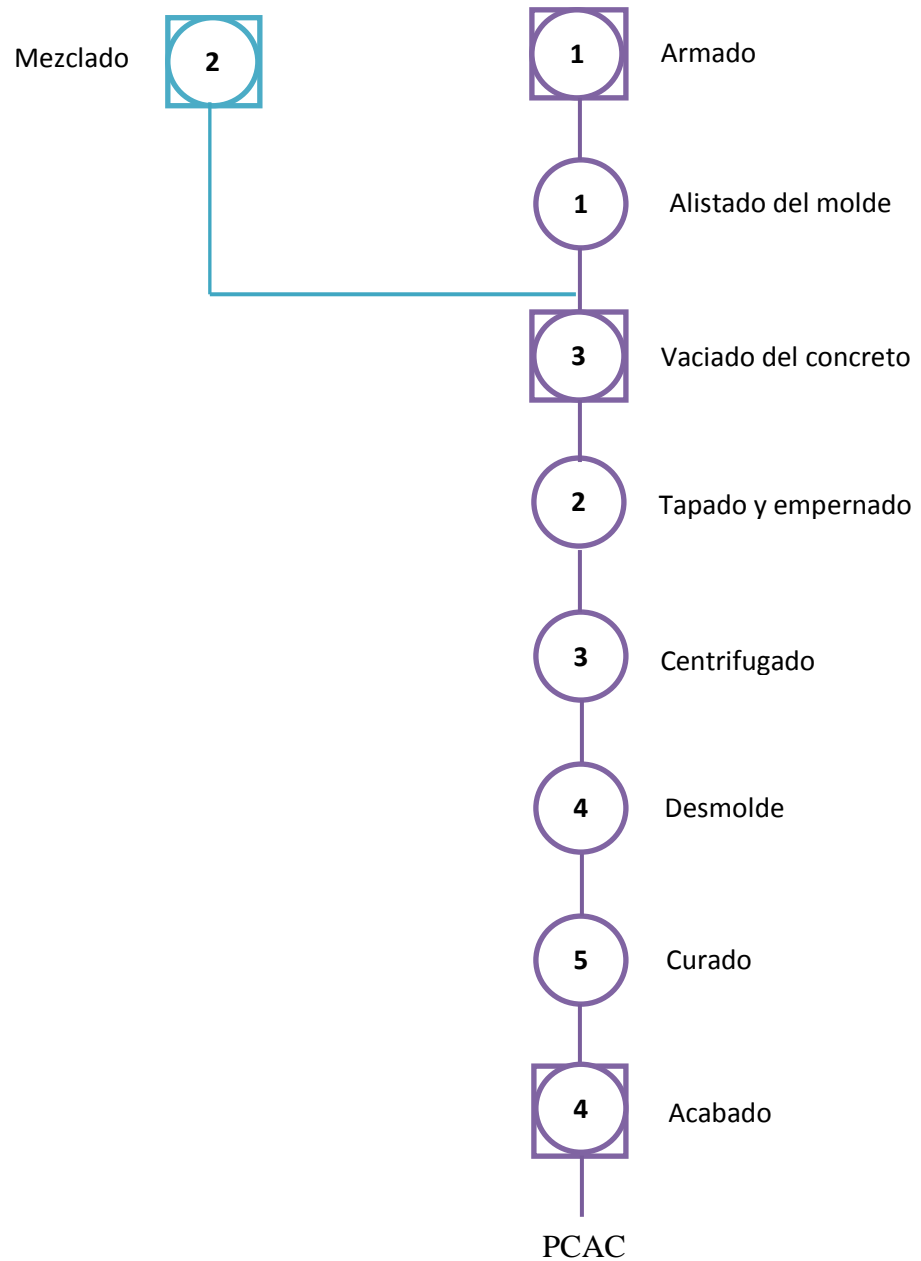


**Figura N°13: Diagrama de flujo de elaboración de postes de CAC.**

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°13, se muestra el proceso de elaboración de postes de CAC, en donde se puede observar que la materia prima que se utiliza es el fierro y alambre junto con el cemento y agregados que son los materiales fundamentales para que se lleve a cabo el proceso.

### 3.2.5.2. Diagrama de operaciones del proceso:



**Figura N°14: Diagrama de operaciones de la elaboración de postes de CAC.**

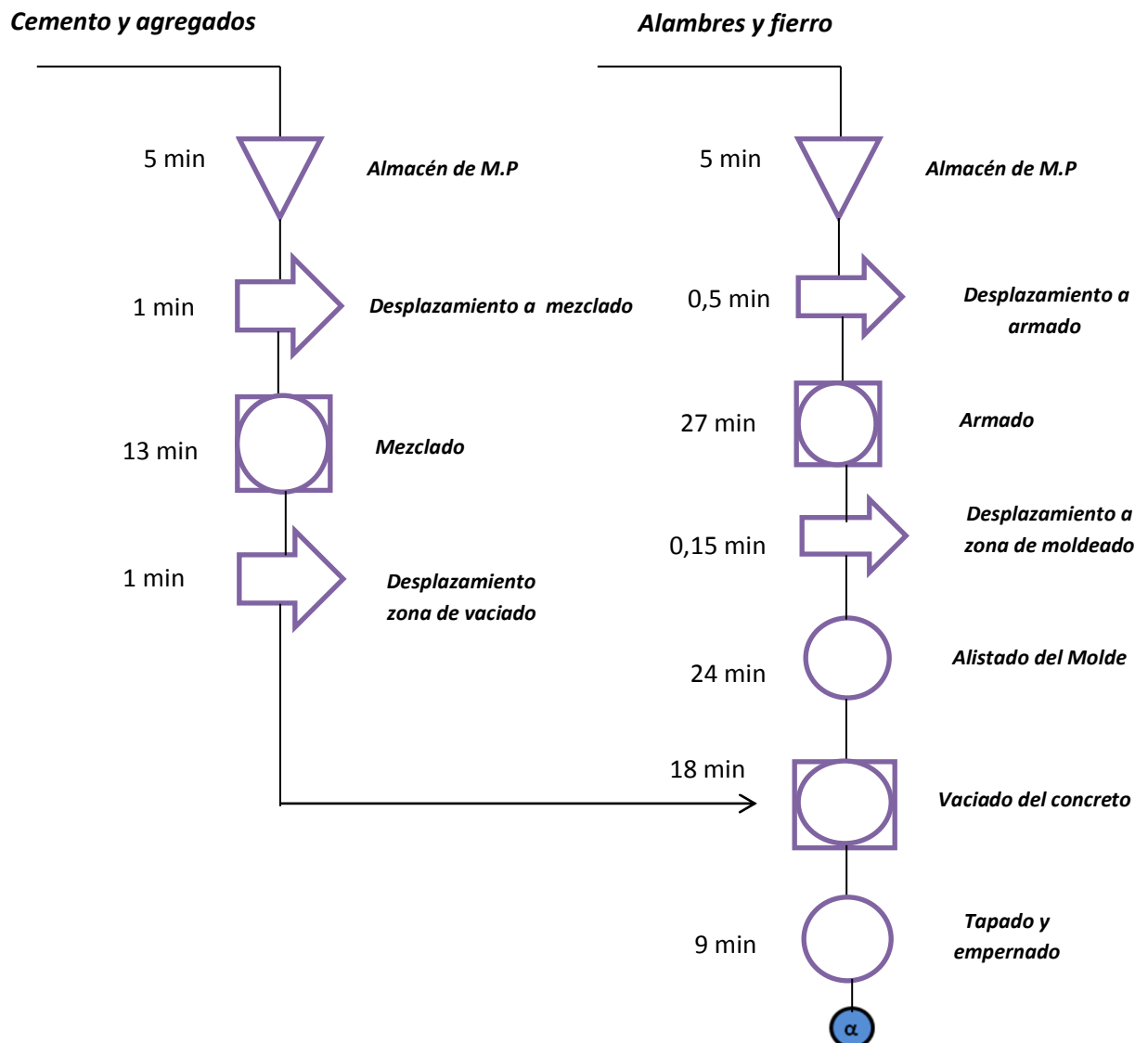
Fuente: Elaboración propia.

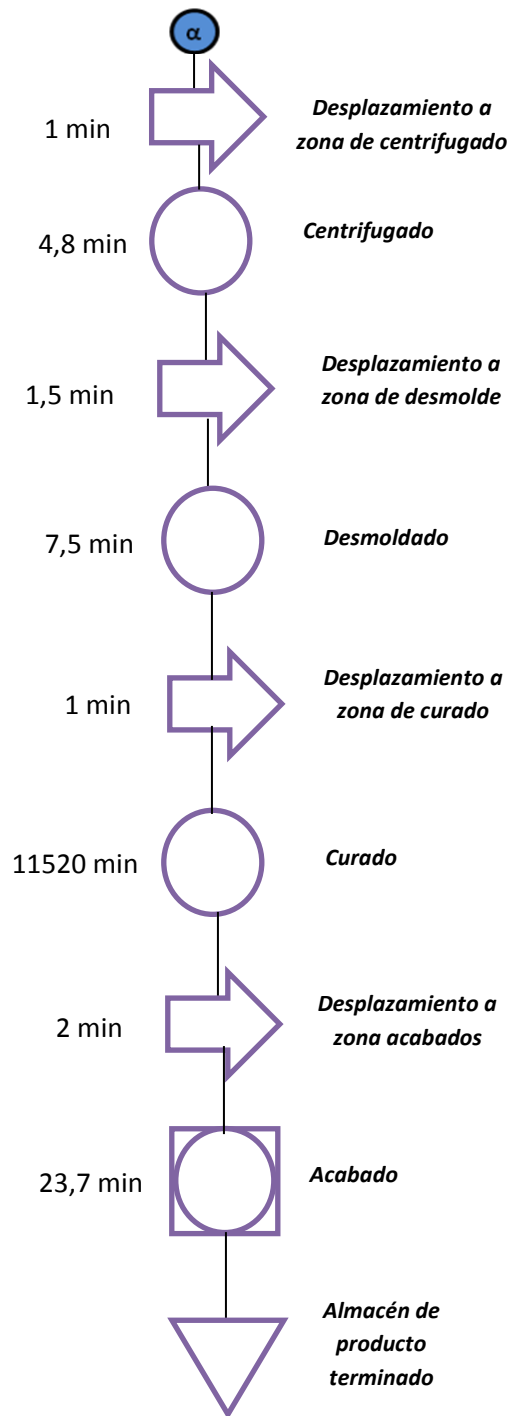
**Tabla N° 5: Resumen de las actividades de la elaboración de postes de CAC de media y baja tensión.**

Actividad	Cantidad	Tiempo (minutos)	Tiempo (minutos)
Operación	5	11 565,3	11 546,44
Inspección	0	0	0
Operación – inspección	4	81,7	49,87
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>11 647</b>	<b>96,31</b>

En la figura N°14, se muestran todas las actividades necesarias para la elaboración de postes de concreto armado centrifugado, como se observa en el cuadro se tiene un total de 9 actividades, en las cuales 5 son operaciones propiamente dichas, 4 operación – inspección. Todas estas actividades se realizan en un tiempo de 11 647 minutos lo que corresponde a postes de CAC de media tensión y 11 596, 31 minutos lo que es postes de CAC de baja tensión, tal como se muestra en la tabla N°5.

**3.2.5.3. Diagrama de análisis del proceso:**





**Figura N°15: Diagrama de análisis del proceso de elaboración de postes de CAC de media tensión.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 6: Resumen de las actividades de la elaboración de postes de CAC de media tensión.**

<b>RESUMEN</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo (minutos)</b>
Operación	5	11 565, 30
Inspección	0	0
Operación – inspección	4	81,7
Transportes	8	8,15
Almacenamiento	3	10
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>11 665, 15</b>

En la figura N°15, se muestran los tiempos generales estandarizados por la empresa necesarios para la elaboración de postes de CAC de media tensión, obtenida a través de la metodología de estudio del trabajo, como se observa en el cuadro se tiene un total de 20 actividades, conformadas por 5 operaciones propiamente dichas, 0 inspecciones, la combinación de estas dos en un total de 4 actividades, 8 transportes, y 3 actividades de almacenamiento. Todas estas actividades se realizan en un tiempo de 11 665, 15 minutos, tal como lo muestra la tabla N° 6.

Para lo cual se mostrará a continuación el porcentaje de actividades productivas e improductivas:

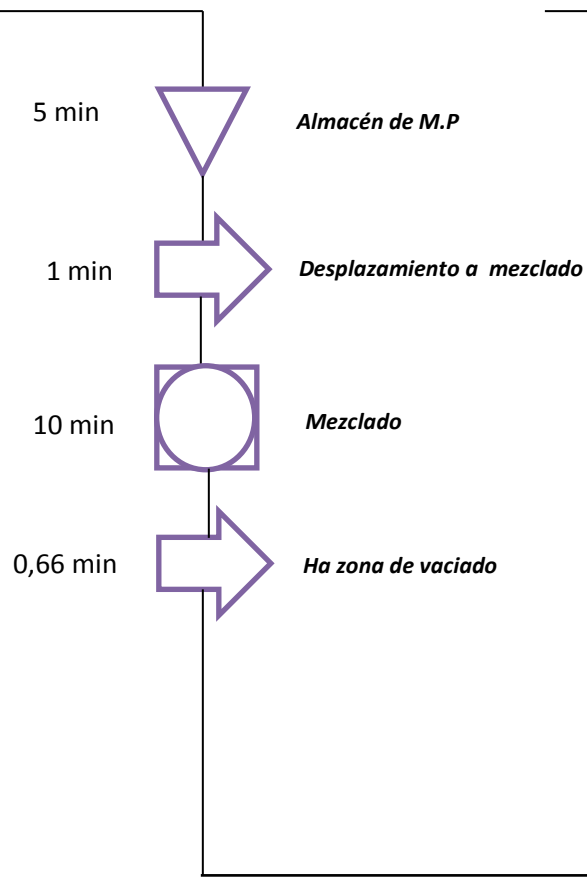
$$\% \text{ Actividades productivas} = \frac{(5+0+4)}{(5+0+4+8+3)} * 100 = 45 \%$$

Como se observa a través de la aplicación de la fórmula de obtención de actividades productivas, este procesamiento tiene 45 % de productividad en sus operaciones.

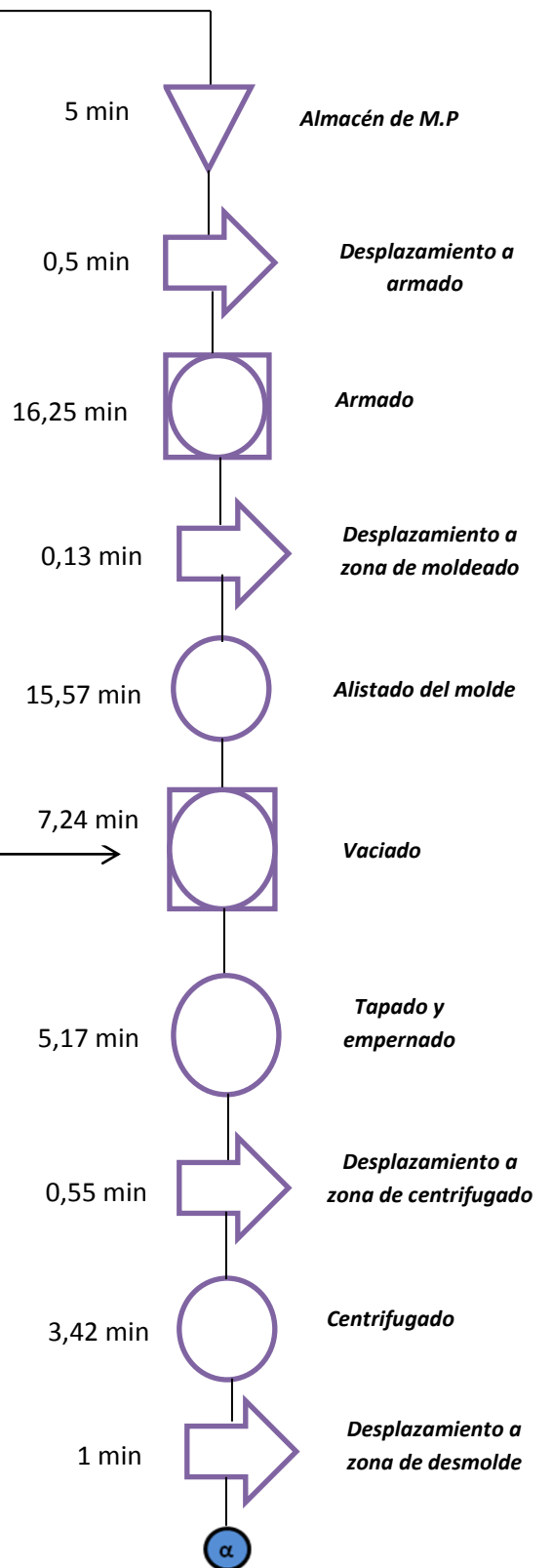
$$\% \text{ Actividades improductivas} = \frac{(8 + 3)}{(5+0+4+8+3)} * 100 = 55 \%$$

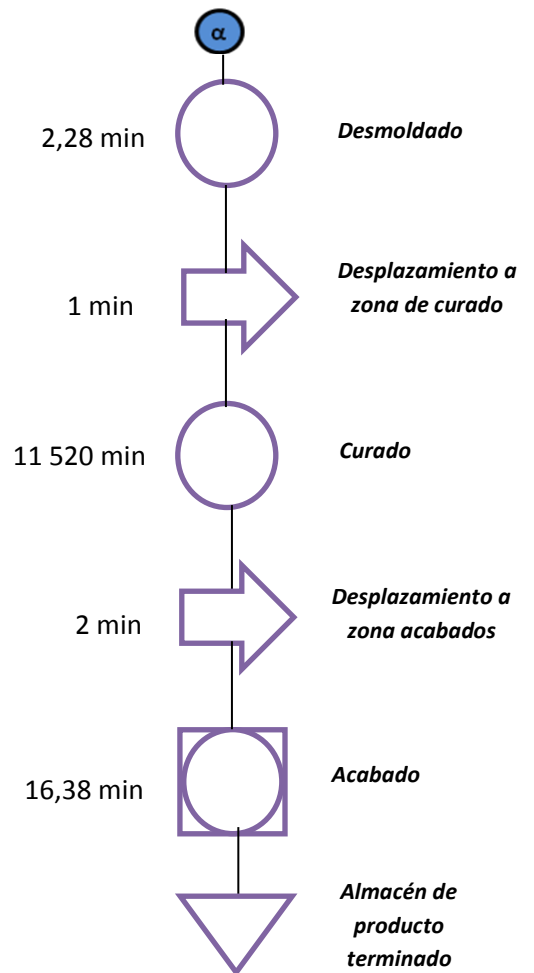
Así mismo se obtiene 55 % de actividades improductivas, estos dos resultados en su combinación completan el 100% notándose.

**Cemento y agregados**



**Alambres y fierro**





**Figura N°16: Diagrama de análisis del proceso de elaboración de postes de CAC de baja tensión.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 7: Resumen de las actividades de elaboración de postes de CAC de baja tensión.**

<b>RESUMEN</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo (minutos)</b>
Operación	5	11 546, 44
Inspección	0	0
Operación – inspección	4	49, 87
Transportes	8	6, 84
Almacenamiento	3	10
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>11 613, 15</b>

En la figura N°16, se muestran los tiempos generales estandarizados por la empresa necesarios para la elaboración de postes de CAC de baja tensión, obtenida a través de la metodología de estudio del trabajo, como se observa en el cuadro se tiene un total de 20 actividades, conformadas por 5 operaciones propiamente dichas, 0 inspecciones, la combinación

de estas dos en un total de 4 actividades, 8 transportes, y 3 actividades de almacenamiento. Todas estas actividades se realizan en un tiempo de 11 613, 15 minutos, tal como lo muestra la tabla N° 7.

Para lo cual se mostrará a continuación el porcentaje de actividades productivas e improductivas:

$$\% \text{ Actividades productivas} = \frac{(5+0+4)}{(5+0+4+8+3)} * 100 = 45 \%$$

Como se observa a través de la aplicación de la fórmula de obtención de actividades productivas, este procesamiento tiene 45% de productividad en sus operaciones.

$$\% \text{ Actividades improductivas} = \frac{(8+3)}{(5+0+4+8+3)} * 100 = 55 \%$$

Así mismo se obtiene 55% de actividades improductivas, estos dos resultados en su combinación completan el 100%.

#### **3.2.5.4. Diagrama de recorrido del proceso:**

En la figura N° 17 se muestra el diagrama de recorrido del proceso de elaboración de postes de concreto armado centrifugado de media y baja tensión, donde se indican las diversas actividades que se ejecutan para obtener este producto.

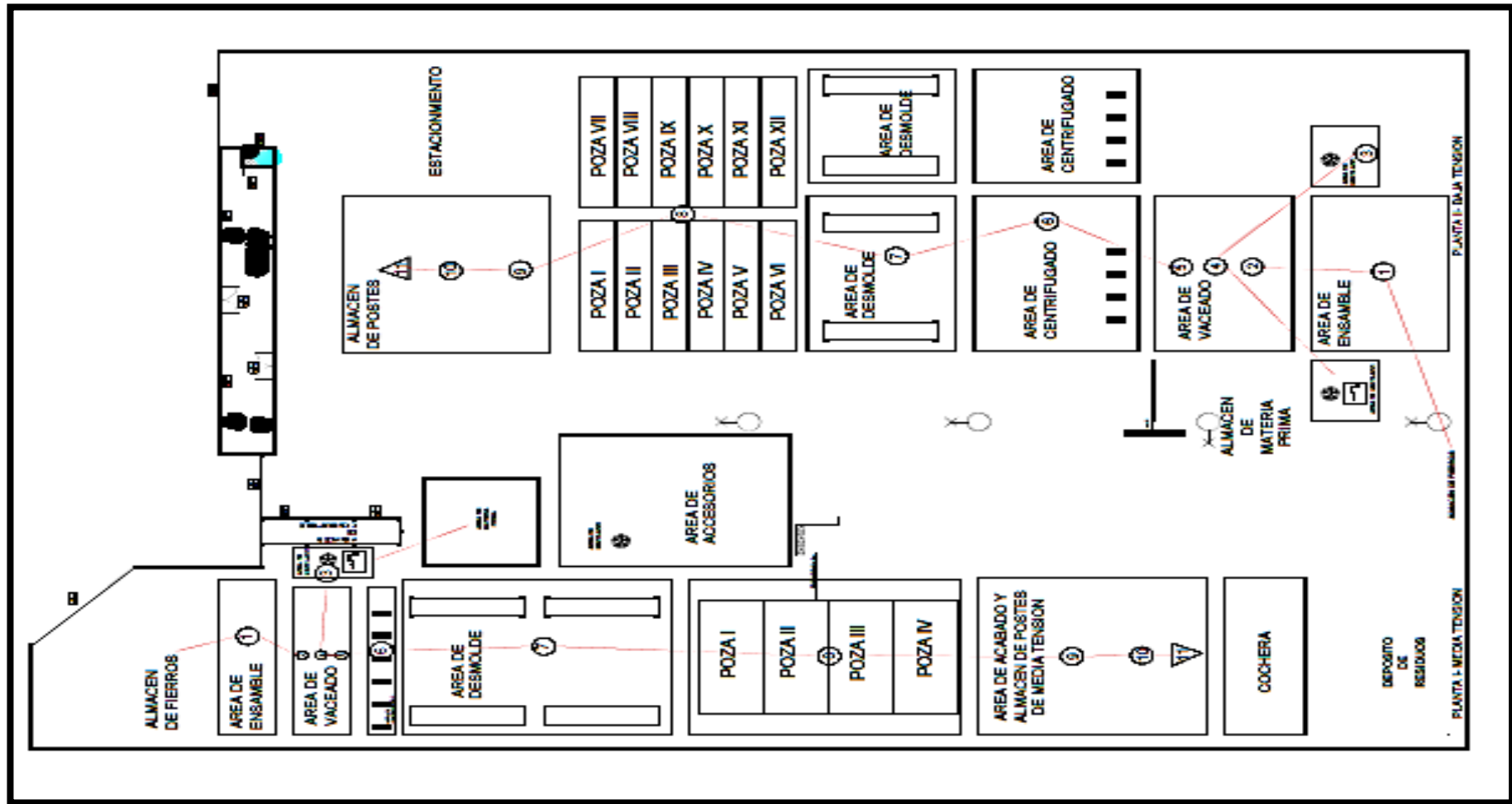


Figura N°17: Diagrama de recorrido del proceso de elaboración de postes de CAC de media y baja tensión.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6. Indicadores actuales de producción y productividad:

La obtención de los indicadores de producción y tiempos del proceso en el análisis del diagnóstico actual, se realizará a través de los datos obtenidos en los diagrama de análisis del proceso de elaboración de postes de CAC de media y baja tensión (figura N°15 y N°16) y mediante la aplicación de las metodologías de medición del trabajo y del balance de línea.

#### 3.2.6.1. Productividad: De los materiales, del recurso humano, económico.

##### A. Producción:

Para poder establecer con exactitud la cantidad de producción entre las dos líneas de producción de postes de CAC se tiene que realizar la suma de la producción de las dos líneas de elaboración de postes de CAC de media y baja tensión, teniéndose una producción de 38 postes/día.

$$Producción = \frac{\textit{Tiempo base}}{\textit{ciclo}}$$

##### Producción de postes de media tensión:

Teniendo en cuenta que si se trabaja en el cuello de botella (armado) la producción de postes sería:

$$Producción (P.CAC. media tensión) = \frac{480 \text{ min/día}}{38 \text{ min/und}} = 13 \text{ postes/día}$$

La producción diaria de PCAC de media tensión es de 13 postes/día.

##### Producción de postes de baja tensión:

Teniendo en cuenta que si se trabaja en el cuello de botella (armado) la producción de postes sería:

$$Producción (P.CAC. baja tensión) = \frac{480 \text{ min/día}}{19 \text{ min/und}} = 25 \text{ postes/día}$$

La producción diaria de PCAC de baja tensión es de 25 postes/día.

## B. Productividad:

Este indicador nos permitirá medir la relación entre la cantidad de productos terminados y la cantidad de materia prima empleada para dicha elaboración.

**Productividad de materiales:** Como se observa en el siguiente cálculo se obtiene que se procesan 1,424 toneladas al día (media tensión), obteniendo al día 1,301 25 toneladas al día, existiendo una merma del 8,62% (media tensión). Y con respecto a los postes de baja tensión existe una merma del 11%.

$$P_{\text{materiales}} = \frac{1,30125 \text{ tn/día}}{1,424 \text{ tn/día}} = 0,9138 \text{ tn/día} = 913,8 \text{ kg/día (Media tensión)}$$

La productividad en la elaboración de los postes de media tensión es de 913,8 kg/día

$$P_{\text{materiales}} = \frac{0,89 \text{ tn/día}}{1 \text{ tn/día}} = 0,89 \text{ tn/día} = 890 \text{ kg/día (Baja tensión)}$$

La productividad en la elaboración de los postes de baja tensión es de 890 kg/día.

**Productividad de mano de obra:** Este cálculo permite determinar la cantidad procesada por operario, con relación a la materia prima que sale del proceso, como se observa, se obtiene que se procesarán 68,48 kilogramos por día por operario.

$$P_{\text{mano de obra}} = \frac{1301,25 \text{ kg/día} + 890 \text{ kg/día}}{32 \text{ operario}} = 68,48 \text{ kg/operario x día}$$

La productividad de mano de obra es de 68,48 kg/operario x día, en las dos líneas de producción.

**Productividad económica:** Este cálculo permite establecer que se tiene un

$$P_{\text{económica}} = \frac{1301,25 \text{ kg} + 890 \text{ kg}}{(32 \text{ op} \times 28,85 \text{ S/ /op}) + (6,5 \text{ kg} \times 5 \text{ S/ /kg}) + (2424 \times 0,7456 \text{ S/ /kg})} = 0,79 \text{ soles/kg}$$

o de producción de 0,79 soles.

La productividad económica es de 0,79 soles/kg.

### 3.2.6.2. Capacidad: Real, Utilizada, Ociosa.

#### A. Capacidad real:

Es la capacidad que está representada por la capacidad que tiene para procesar en la máquina mezcladora, mostrándose a continuación:

**Capacidad real de la mezcladora 1: 1 600 kg/día.**

**Capacidad real de la mezcladora 2: 1 000 kg/día.**

**Capacidad real de la mezcladora 3: 1 000 kg/día.**

**Capacidad real total de mezcladoras = 3 600kg/día.**

#### B. Capacidad utilizada:

Actualmente la empresa, no usa el total de la capacidad real, es por ello que existen capacidades ociosas, la cantidad utilizada actualmente es:

**Capacidad utilizada de mezcladora (media tensión): 1 400 kg/día.**

**Capacidad utilizada de mezcladora 1 (baja tensión): 800 kg/día.**

**Capacidad utilizada de mezcladora 2 (baja tensión): 200 kg/día.**

**Capacidad utilizada de mezcladora = 2 450 kg/día.**

#### C. Capacidad ociosa:

Esta capacidad es la resultante de la diferencia de la capacidad real de las maquinarias y la capacidad utilizada, como se muestra a continuación se tiene una capacidad ociosa de 1 150 kilogramos al día.

$$\text{Capacidad ociosa} = \text{Real} - \text{Utilizada}$$

$$\text{Capacidad ociosa} = 3\ 600 \text{ kg/día} - 2\ 450 \text{ kg/día} = 1\ 150 \text{ kg/día}$$

La capacidad ociosa de la maquinaria es de 1 150 kg/día.

### 3.2.6.3. Utilización:

Para calcular este indicador se tiene la capacidad real de la maquinaria con relación a la capacidad utilizada, y tal como se muestra en la fórmula se tiene que el proceso de obtención de conserva tiene una utilización de 68, 06%.

$$\text{Utilización} = \frac{2\,450}{3\,600} = 0,6806 * 100 = 68,06\%$$

La utilización de la máquina mezcladora es en total 68,06 %, que resulta de la división de la capacidad utilizada de 2 450 kg/día entre los 3 600 kg/día de capacidad real.

#### 3.2.6.4. Tiempos estándares:

En base a una muestra, se tienen los siguientes tiempos estándares.

A. Proceso de elaboración de postes de CAC de media tensión.

**Tabla N°8: Tiempo de elaboración de postes de CAC de media tensión.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo</b>
Armado	38 minutos
Alistado del molde	24 minutos
Mezclado	13 minutos
Vaciado del concreto	18 minutos
Tapado y Empernado	9 minutos
Centrifugado	4,8 minutos
Desmoldado	7,5 minutos
Curado	8 días
Acabado	23,7 minutos

Fuente: Elaboración propia.

B. Proceso de elaboración de postes de CAC de baja tensión:

**Tabla N°9: Tiempo de elaboración de postes CAC de baja tensión.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo</b>
Armado	19 minutos
Alistado del molde	15,57 minutos
Mezclado	10 minutos
Vaciado del concreto	7,24 minutos
Tapado y Empernado	5,17 minutos
Centrifugado	3,42 minutos
Desmoldado	2,28 minutos
Curado	8 días
Acabado	16,38 minutos

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6.5. Cuello de botella:

- Proceso de producción de postes de CAC media tensión: armado (38 minutos).
- Proceso de producción de postes de CAC baja tensión: armado (19 minutos).

### 3.2.6.6. Tiempo ciclo total:

Teniendo en consideración el tiempo de cada actividad de forma individual del proceso de elaboración de postes de CAC se tienen los siguientes tiempos de ciclo.

**Tabla N°10: Tiempo de ciclo total**

Proceso	Tiempo de ciclo
Proceso de producción de postes CAC de media tensión	2 horas 5 minutos
Proceso de producción de postes CAC de baja tensión	1 hora 9 minutos

### 3.2.6.7. Eficiencia:

Este indicador nos permite obtener la relación que existe entre los recursos obtenidos y los recursos empleados.

**Eficiencia física:** Este indicador permitirá establecer la relación que existe en cuanto resultados obtenidos de kilogramos procesados y los recursos empleados, es decir que se aprovecha en el proceso el 90,4%, existiendo una merma del 9,6%.

$$E_{\text{física}} = \frac{1,30125 \text{ tn/día} + 0,89 \text{ tn/día}}{1,424 \text{ tn/día} + 1 \text{ tn/día}} = 0,904 * 100 = 90,4\%$$

**Eficiencia económica:** Este indicador permite determinar que por cada sol empleado en la producción de postes de concreto armado centrifugado de media y baja tensión, se gana 0,18 soles.

$$E_{\text{económica}} = \frac{(1,30125 \text{ tn/día} + 0,89 \text{ tn/día}) * 696,43 \text{ soles/poste}}{(1,424 \text{ tn/día} + 1 \text{ tn/día}) * 531,71 \text{ soles/poste}} = 1,18 \text{ soles}$$

### 3.3. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y SUS CAUSAS:

A partir del diagnóstico realizado en base a las metodologías de medición y estudio del trabajo, se identificaron las principales restricciones del sistema, así como las principales causas de las restricciones del proceso de elaboración de postes de concreto armado centrifugado de baja y alta tensión.

**Tabla N° 11: Identificación de restricciones, causas y propuestas de solución.**

<b>Restricciones de producción</b>	<b>Causas posibles</b>	<b>Propuesta general de solución</b>
Retraso de la materia prima.	- Inadecuado procedimiento de reaprovisionamiento de materia prima a planta.	- Programar utilizando la metodología DBR <sup>2</sup> .
Producción programada incumplida.	- La causa principal es que no realizan una adecuada planificación de producción.	- Programar utilizando la metodología DBR.
El tiempo irregular de armado de la estructura del molde por parte de los operarios.	- Curva de aprendizaje distinta de operarios. - Falta de capacitación.	- Realizar un control minucioso de tiempos y movimientos de todos los operarios, estableciendo cual es el tiempo óptimo para realizar esta actividad. - Se propone establecer capacitaciones al personal de producción que le ayude a comprender la importancia de lo que realizan.
El tiempo irregular para alistar el molde y la variación del número de operarios por cada etapa del proceso.	- Curva de aprendizaje distinta de operarios. - Falta de capacitación.	- Realizar un control de tiempos y movimientos de todos los operarios en la realización de esta etapa del proceso. - Se propone establecer capacitaciones al personal de producción que le ayude a comprender la importancia de lo que realizan.

<sup>2</sup> Drum (tambor) –Buffer (amortiguador) – Rope (cuerda).

Pedidos no atendidos por la empresa.	- Deficiente programación de producción.	- Aplicar los cinco pasos de la teoría de restricciones para elevar la producción diaria y llegar a aceptar más pedidos lo que contribuirá a elevar el throughput.
--------------------------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia.

### A. Restricción I: Retraso de la materia prima.

#### - Descripción de la restricción:

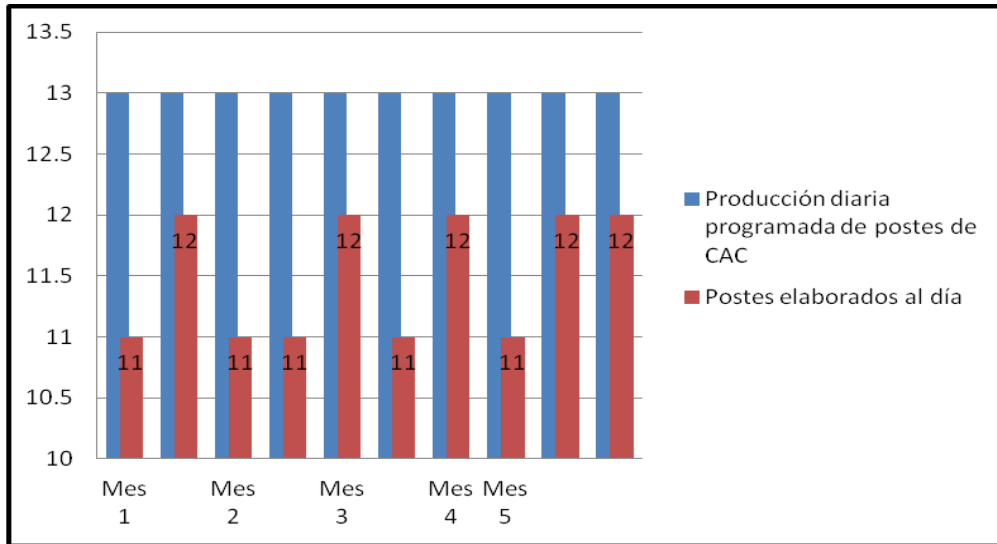
En esta restricción se manifiesta porque existe un inadecuado procedimiento de reaprovisionamiento de materia prima a planta, lo que ocasiona que no se llegue a elaborar al día lo establecido y conlleve a la realización de horas extras.

Es importante mencionar que se realizó una medida de la producción de postes por día cuando hubo retraso de la materia prima para determinar las unidades que se alcanzan elaborar. A continuación se muestra la tabla N°12 en donde se evidencia la producción incumplida por falta de materia prima y los gráficos para mayor apreciación.

**Tabla N° 12: Producción diaria incumplida por falta de materia prima.**

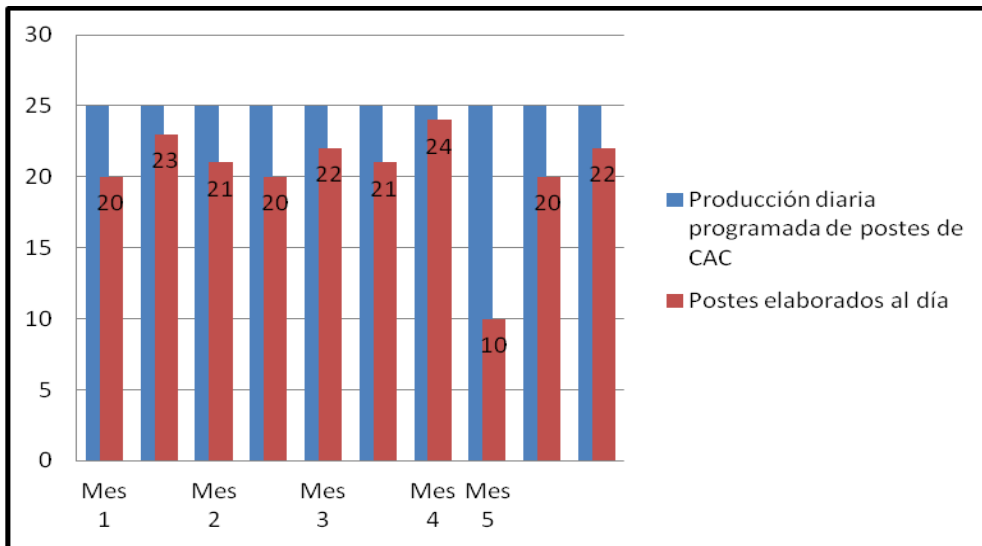
Meses	Producción diaria programada de postes de CAC de media tensión	Postes elaborados al día	Producción diaria programada de postes de CAC de baja tensión	Postes elaborados al día
Mes 1	13 postes/día	11 postes/día	25 postes/día	20 postes/día
	13 postes/día	12 postes/día	25 postes/día	23 postes/día
Mes 2	13 postes/día	11 postes/día	25 postes/día	21 postes/día
	13 postes/día	11 postes/día	25 postes/día	20 postes/día
Mes 3	13 postes/día	12 postes/día	25 postes/día	22 postes/día
	13 postes/día	11 postes/día	25 postes/día	21 postes/día
Mes 4	13 postes/día	12 postes/día	25 postes/día	24 postes/día
Mes 5	13 postes/día	11 postes/día	25 postes/día	10 postes/día
	13 postes/día	12 postes/día	25 postes/día	20 postes/día
	13 postes/día	12 postes/día	25 postes/día	22 postes/día

Fuente: Empresa "Tubos y postes Chiclayo S.R.L.".



**Figura N°18: Producción diaria incumplida por falta de materia prima de postes de CAC de media tensión.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N°19: Producción diaria incumplida por falta de materia prima de postes de CAC de baja tensión.**

Fuente: Elaboración propia.

**- Causa posible:**

La principal causa de esta restricción, se basa en que existe un inadecuado procedimiento de reaprovisionamiento de materia prima a planta, además del desconocimiento del tiempo en que se tiene que realizar el reaprovisionamiento del material.

## **B. Restricción II: Producción programada incumplida.**

### **- Descripción de la restricción:**

Esta restricción es una consecuencia de la restricción anterior, debido a que el retraso de la materia prima ocasiona que no se lleven a cabo la producción programada desperdiciando el tiempo de trabajo y generando costos por producción incumplida y costos de personal ocioso que se analizarán más adelante.

### **- Causa posible:**

La causa principal es que no cuentan con un reaprovisionamiento de la materia prima adecuado, ni la capacidad para planificar de la mejor manera su producción de postes de concreto armado centrifugado.

## **C. Restricción III: El tiempo irregular de armado de la estructura del molde por parte de los operarios.**

### **- Descripción de la restricción:**

La etapa de armado de la estructura del molde es una de las actividades más importantes en el proceso de elaboración de postes de concreto armado, tal como se ha descrito en el análisis de tiempos. En esta se puede observar los tiempos irregulares promedio que existen al ejecutar esta actividad, lo que ocasiona que exista una variación de la productividad, es decir que al realizar el promedio entre el operario que arma más rápido y el más lento mi productividad va a disminuir debido a que la curva de aprendizaje no es completamente estandarizada. A continuación, se muestran los tiempos empleados por operario para realizar la actividad de armado en base a la aplicación de la metodología de muestreo del trabajo, específicamente con el muestreo por selección intencionada o muestreo por conveniencia.

**Tabla N° 13: Tiempos empleados para el armado de la estructura del poste de media tensión.**

<b>Número de operario</b>	<b>Tiempo promedio</b>
Operario 1	25 minutos/und
Operario 2	26 minutos/und
Operario 3	41 minutos/und
Operario 4	45 minutos/und
Operario 5	42 minutos/und
Operario 6	45 minutos/und
Operario 7	43 minutos/und

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 14: Tiempos empleados para el armado de la estructura del poste de baja tensión.**

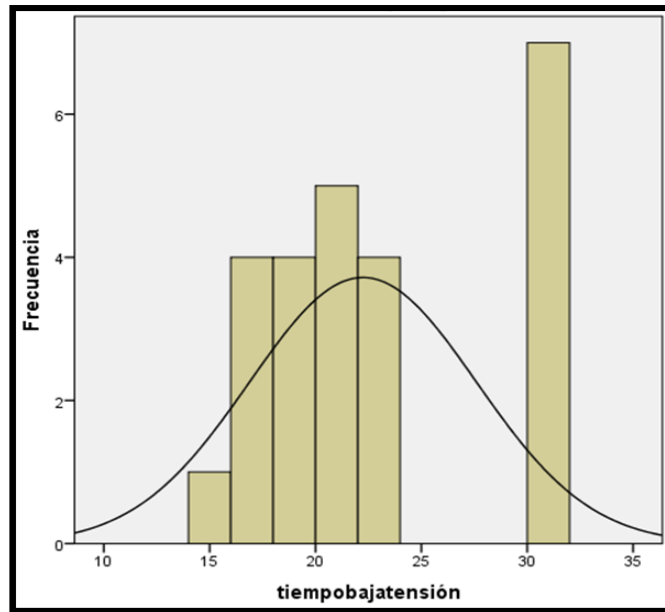
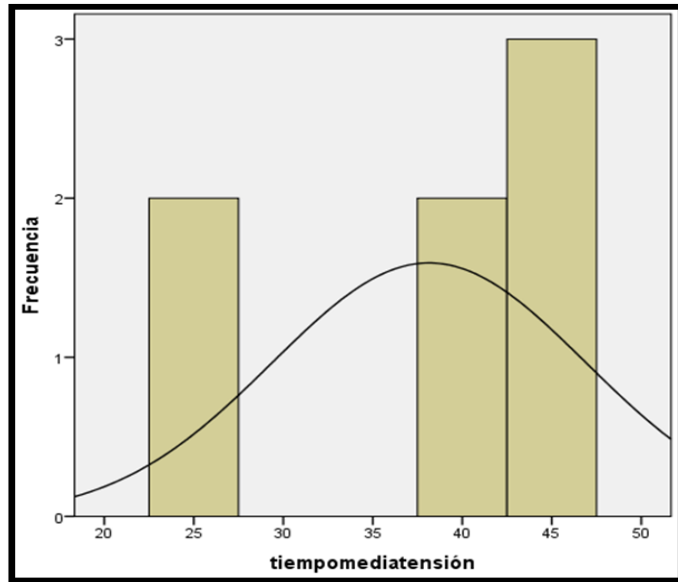
<b>Número de operario</b>	<b>Tiempo promedio</b>	<b>Número de operario</b>	<b>Tiempo promedio</b>
Operario 1	15 minutos/und	Operario 14	21 minutos/und
Operario 2	23 minutos/und	Operario 15	17 minutos/und
Operario 3	30 minutos/und	Operario 16	30 minutos/und
Operario 4	30 minutos/und	Operario 17	18 minutos/und
Operario 5	20 minutos/und	Operario 18	30 minutos/und
Operario 6	22 minutos/und	Operario 19	19 minutos/und
Operario 7	21 minutos/und	Operario 20	30 minutos/und
Operario 8	22 minutos/und	Operario 21	21 minutos/und
Operario 9	30 minutos/und	Operario 22	18 minutos/und
Operario 10	16 minutos/und	Operario 23	30 minutos/und
Operario 11	20 minutos/und	Operario 24	16 minutos/und
Operario 12	16 minutos/und	Operario 25	22 minutos/und
Operario 13	19 minutos/und		

Fuente: Elaboración propia.

La tabla N°13 y N°14, contienen el tiempo promedio en minutos del armado de la estructura del poste, de los 7 operarios que operan en la línea de postes de media tensión y de los 25 operarios que operan en la línea de postes de baja tensión, dando a notar que no se llegaría al día a producir las unidades requeridas por la variabilidad en los tiempos.

La figura N°20 muestra una representación gráfica de la tabla N°13 y N°14, mediante el uso del software SPSS, el cual permite ver la dispersión y la tendencia de los datos para una mejor comprensión de la situación.

Analizando los datos estadísticos (ver anexo N°1) y el histograma podemos deducir que los datos tienden hacia la derecha en los postes de media tensión y hacia la izquierda en los postes de baja tensión.



**Figura N° 20: Frecuencia de la etapa de armado.**

Fuente: Elaboración propia.

**- Causa Posible:**

Esta restricción es ocasionada por diferentes factores, en primer lugar se pudo observar que los operarios no cuentan con la misma experiencia para realizar esta actividad; es decir, la curva de aprendizaje de los operarios es distinta. Otro factor que influye es que no están capacitados para realizar cualquier actividad del

proceso en el tiempo establecido. Esto se da a notar en el grafico la variabilidad que existe al realizar esta actividad.

**D. Restricción IV: El tiempo irregular para alistar el molde y la variación del número de operarios por cada etapa del proceso.**

**- Descripción de la restricción:**

La actividad de alistar el molde, al igual que la anterior, es de gran importancia para el proceso de elaboración del poste de CAC, tal como se ha descrito en el análisis de tiempos de elaboración del poste. En esta etapa se observan que existe una variabilidad del tiempo promedio que existen al ejecutar dicha actividad, lo que ocasiona una variación de la productividad, es decir que al realizar el promedio del tiempo que emplea un operario para alistar el molde, existen operarios que tiene un ritmo menor de trabajo, lo cual disminuye la productividad. A continuación se muestran los tiempos empleados por operario para realizar la actividad de alistar el molde en base a la aplicación de la metodología de muestreo del trabajo, específicamente con el muestreo por selección intencionada o muestreo por conveniencia.

**Tabla N° 15: Tiempos empleados para alistar el molde (media tensión)**

<b>Número de operario</b>	<b>Tiempo</b>
Operario 1	24 minutos/und
Operario 2	22 minutos/und
Operario 3	30 minutos/und
Operario 4	26 minutos/und
Operario 5	28 minutos/und
Operario 6	27 minutos/und
Operario 7	29 minutos/und

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 16: Tiempos empleados para alistar el molde (baja tensión)**

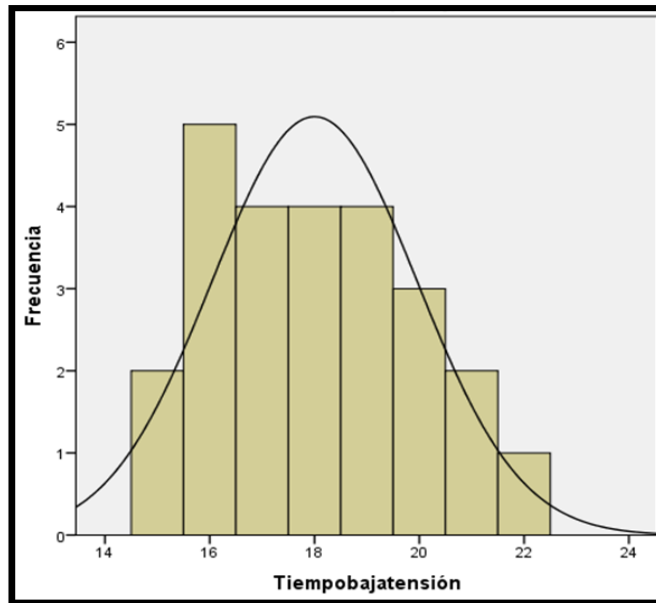
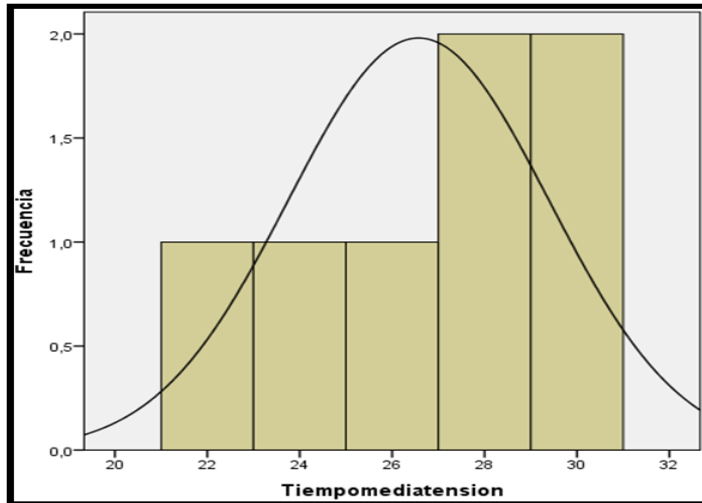
<b>Número de operario</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Número de operario</b>	<b>Tiempo</b>
Operario 1	15 minutos/und	Operario 14	21 minutos/und
Operario 2	17 minutos/und	Operario 15	17 minutos/und
Operario 3	20 minutos/und	Operario 16	18 minutos/und
Operario 4	16 minutos/und	Operario 17	18 minutos/und
Operario 5	15 minutos/und	Operario 18	17 minutos/und
Operario 6	20 minutos/und	Operario 19	19 minutos/und
Operario 7	16 minutos/und	Operario 20	20 minutos/und
Operario 8	17 minutos/und	Operario 21	21 minutos/und
Operario 9	19 minutos/und	Operario 22	19 minutos/und
Operario 10	16 minutos/und	Operario 23	18 minutos/und
Operario 11	18 minutos/und	Operario 24	16 minutos/und
Operario 12	16 minutos/und	Operario 25	22 minutos/und
Operario 13	19 minutos/und		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 15 y N° 16 contienen los tiempos promedio de alistado del molde, de los 7 operarios que operan en la línea de media tensión y de los 25 operarios que operan en la línea de baja tensión.

La figura N°21 muestra una representación gráfica de la tabla N°15 y N°16, mediante el uso del software SPSS, el cual permite ver la dispersión y la tendencia de los datos para una mejor comprensión de la situación.

Analizando los datos estadísticos (ver anexo N°2) y el histograma podemos deducir que los datos tienden hacia la derecha en los postes de media tensión y hacia la izquierda en los postes de baja tensión.



**Figura N° 19: Frecuencia de la etapa de alistado del molde.**

Fuente: Elaboración propia.

**- Causa Posible:**

Esta restricción es ocasionada por diferentes factores, en primer lugar se pudo observar que los operarios no cuentan con la misma experiencia para realizar esta actividad; es decir, la curva de aprendizaje es distinta entre los operarios. Otro factor que influye es que no están capacitados para realizar cualquier actividad del proceso en el tiempo establecido. Esto se da a notar en el grafico la variabilidad que existe al realizar esta actividad.

## E. Restricción V: Pedidos no atendidos por la empresa.

### - Descripción de la restricción:

La empresa actualmente no puede atender algunos pedidos por el motivo que no podrá entregar el pedido al cliente a la fecha solicitada debido a las demoras que se presentan en producción. En la tabla N°17 se muestra el número de pedidos que no se han atendido y la cantidad promedio de postes por pedido.

**Tabla N° 17: Pedidos no atendidos por la empresa.**

<b>Mes</b>	<b>Número de pedidos no atendidos</b>	<b>Cantidad de postes por pedido</b>
Mes 1	3	70 postes/pedido
		55 postes/pedido
		60 postes/pedido
Mes 2	2	80 postes/pedido
		66 postes/pedido
Mes 3	2	60 postes/pedido
		50 postes/pedido
Mes 4	2	60 postes/pedido
		90 postes/pedido
Mes 5	2	85 postes/pedido
		77 postes/pedido
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>753 postes/pedido</b>

Fuente: Elaboración propia.

### - Causas posibles:

Esto se debe a la inexistencia de una planificación de la producción, lo que conlleva a rechazar pedidos para efectuar la entrega a tiempo de los pedidos anteriores. Ocasionando que se reduzca el throughput.

#### IV. DESARROLLO DE PROPUESTA DE MEJORAS EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN:

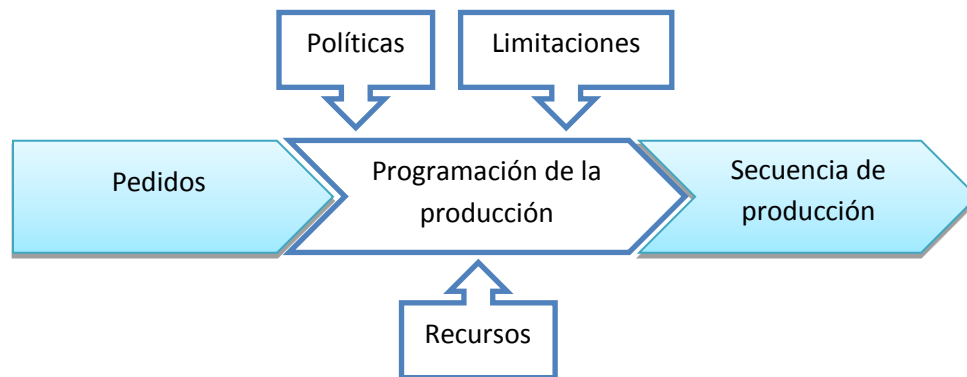
##### 4.1. Mejoras para las restricciones del sistema de producción:

###### A. Retraso de la materia prima:

Para esto es importante considerar cuándo pedir de materia prima proveniente de los proveedores Ferronor, Representaciones Dora Beatriz, Santa Isabel, Compañía ISA, Aceros Arequipa.

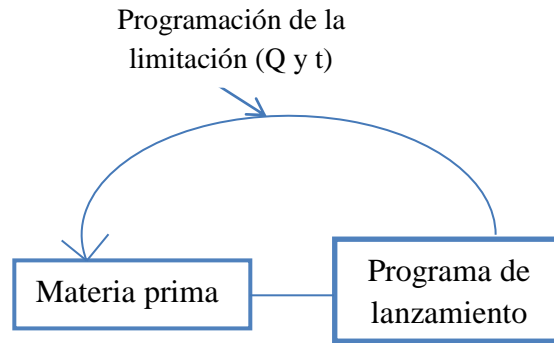
Lo que se propone es que se realice un adecuado reaprovisionamiento de la materia prima, identificando el tiempo en que se hará el pedido de la materia prima; estableciendo programar mediante la metodología DBR, Drum (tambor), buffer (amortiguador) y Rope (cuerda); en donde el tambor permitirá a la empresa marcar el ritmo de producción, con el cual sabremos cuánto producir, el amortiguador saber cuándo lanzar el pedido y por último la cuerda nos permitirá saber cuánto lanzar.

Considerando que la empresa trabaja bajo pedidos la secuencia de producción responderá de la siguiente manera:



**Figura N°22: Propuesta de planificación.**

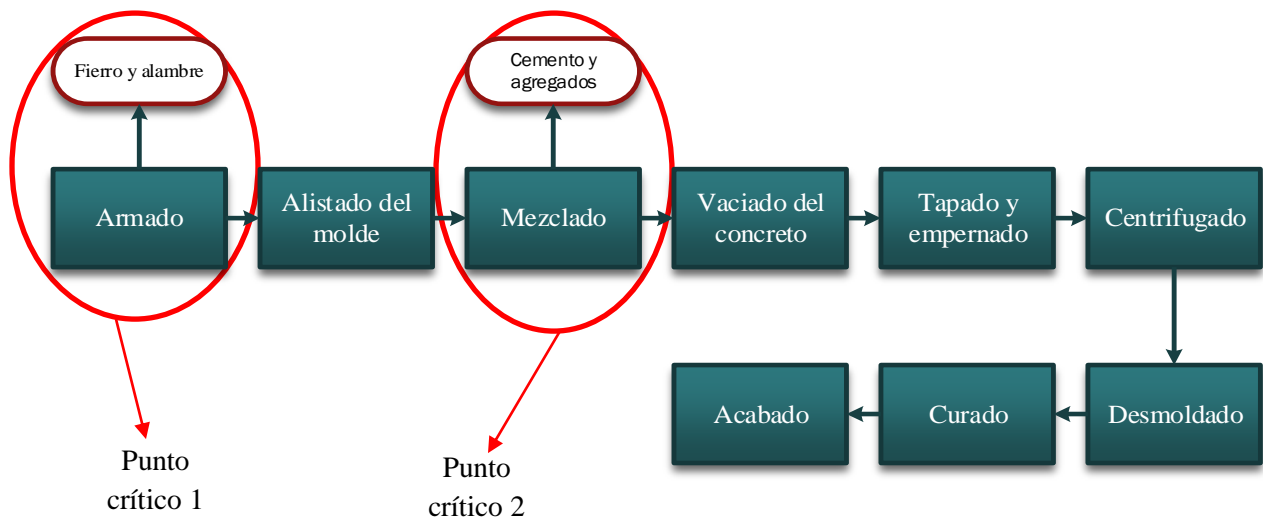
Fuente: Elaboración propia.



**Figura N°23: Propuesta a seguir para la programación de la limitación.**

Fuente: Elaboración propia.

Para desarrollar la metodología es necesario que la empresa tenga en claro que etapas del proceso de elaboración requieren de material, llevando al siguiente análisis:



**Figura N°24: Puntos críticos del proceso de elaboración de PCAC.**

Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificado cuáles son los puntos críticos en el proceso en donde se tiene que proveer de material, sino la producción no se lleva a cabo. Ante esta situación se recomienda que al terminar la producción diaria se lleve a cabo la verificación del material en planta para la producción del día siguiente, teniendo en cuenta el tipo de poste a producir y el material que se necesitará para terminar con la producción programada. A continuación en la tabla N°18 y N°19 se muestra el material que se necesita para elaborar un poste según sus características:

**Tabla N°18 : Material requerido para postes de baja tensión**

<b>TIPO DE POSTES BAJA TENSION</b>	<b>FIERRO</b>			<b>ALAMBRE</b>			<b>MATERIAL DE CANTERA (Balde de 20 L)</b>				<b>CEMENTO (Bolsas)</b>
	<i>Fierro de acero 1/2"</i>	<i>Fierro de acero 3/8"</i>	<i>Fierro de acero 5/8"</i>	<i>Alambre N° 1/4</i>	<i>Alambre N° 8</i>	<i>Alambre N° 16</i>	<i>Confitillo</i>	<i>Arena gruesa</i>	<i>Arenilla</i>	<i>Piedra 1/2</i>	
Poste de CAC de 6/70/90/180	6			X			10	1,5	1	6	3,5
Poste de CAC de 6/100/90/180	6			X			10	1,5	1	6	3,5
Poste de CAC de 7/200/120/225		7			X		13	2	1	7	4
Poste de CAC de 7/300/120/225		7			X		13	2	1	7	4,5
Poste de CAC de 8/200/120/240		8			X		15	2,5	1	8	5
Poste de CAC de 8/300/120/240		8			X		15	2,5	1	8	5,5
Poste de CAC de 8/200/150/270		8			X		15	2,5	1	8	5
Poste de CAC de 8/300/150/270		8			X		15	2,5	1	8	5,5
Poste de CAC de 9/200/120/240		9			X		18	3	1	9	6
Poste de CAC de 9/300/120/240		9			X		18	3	1	9	6,5
Poste de CAC de 9/200/150/285		9			X		18	3	1	9	6
Poste de CAC de 9/300/150/285		9			X		18	3	1	9	6,5

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°19: Material requerido para postes de media tensión**

TIPO DE POSTES ALTA TENSION	FIERRO			ALAMBRE			MATERIAL DE CANTERA (Balde de 20 L)				CEMENTO (Bolsas)
	<i>Fierro de acero 1/2"</i>	<i>Fierro de acero 3/8"</i>	<i>Fierro de acero 5/8"</i>	<i>Alambre N° 1/4</i>	<i>Alambre N° 8</i>	<i>Alambre N° 16</i>	<i>Confitillo</i>	<i>Arena gruesa</i>	<i>Arenilla</i>	<i>Piedra 1/2</i>	
Poste de CAC de 11/300/165/330			11			X	20	3,5	1	11	6,5
Poste de CAC de 12/200/165/345			12			X	20	3,5	1.5	11,5	7
Poste de CAC de 12/300/165/345			12			X	20	3,5	1.5	11,5	7
Poste de CAC de 12/400/165/345			12			X	20	3,5	1.5	11,5	7,5
Poste de CAC de 12/300/180/360			12			X	20	3,5	1.5	11,5	7
Poste de CAC de 12/400/180/360			12			X	20	3,5	1.5	11,5	7,5
Poste de CAC de 12/800/180/360			12			X	20	3,5	1.5	11,5	8
Poste de CAC de 13/200/165/360			13			X	22	4	2	14	8
Poste de CAC de 13/300/165/360			13			X	22	4	2	14	9
Poste de CAC de 13/400/165/360			13			X	22	5	3	14,5	9
Poste de CAC de 13/600/165/360			13			X	22.5	5	3	15	10
Poste de CAC de 13/800/165/360			13			X	22.5	5	3	15	11
Poste de CAC de 13/200/180/375			13			X	22	4	2	14	8
Poste de CAC de 13/300/180/375			13			X	22	4	2	14	9
Poste de CAC de 13/400/180/375			13			X	22	5	3	14,5	9

## **B. Producción programada incumplida.**

Este problema es una consecuencia que ocasiona el desconocimiento del tiempo de reaprovisionamiento de la materia prima, debido a que no se cuenta con la cantidad necesaria de materia prima que ingrese directamente al proceso, tal y como se planteó anteriormente, se debe aplicar la metodología DBR.

Para realizar esta propuesta se requiere la ejecución de la propuesta anterior, es decir que se utilice la metodología DBR para evitar retrasos en la producción.

A continuación se muestra un análisis del costo que incurre no producir las unidades programadas y el costo del personal ocioso. En lo que refiere a la producción de postes de media tensión se tiene que no se elaboran al día un promedio de 2 postes y en la producción de postes de baja tensión no se llegan a elaborar un promedio de 5 postes/día afectando al throughput.

**Tabla N° 20: Costos de producción incumplida.**

<b>Meses</b>	<b>Producción diaria programada de postes de CAC de media tensión</b>	<b>Postes elaborados al día</b>	<b>Costo promedio que incurre al no elaborar los postes programados</b>	<b>Producción diaria programada de postes de CAC de baja tensión</b>	<b>Postes elaborados al día</b>	<b>Costo promedio que incurre al no elaborar los postes programados</b>
Mes 1	13 postes/día	11 postes/día	531,26 soles	25 postes/día	20 postes/día	3 691,40 soles
	13 postes/día	12 postes/día	265,63 soles	25 postes/día	23 postes/día	1 476,56 soles
Mes 2	13 postes/día	11 postes/día	531,26 soles	25 postes/día	21 postes/día	2 953,12 soles
	13 postes/día	11 postes/día	531,26 soles	25 postes/día	20 postes/día	3 691,40 soles
Mes 3	13 postes/día	12 postes/día	265,63 soles	25 postes/día	22 postes/día	2 284,14 soles
	13 postes/día	11 postes/día	531,26 soles	25 postes/día	21 postes/día	2 953,12 soles
Mes 4	13 postes/día	12 postes/día	265,63 soles	25 postes/día	24 postes/día	738,28 soles
Mes 5	13 postes/día	11 postes/día	531,26 soles	25 postes/día	10 postes/día	11 074,20 soles
	13 postes/día	12 postes/día	265,63 soles	25 postes/día	20 postes/día	3 691,40 soles
	13 postes/día	12 postes/día	265,63 soles	25 postes/día	22 postes/día	2 284,14 soles

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 21: Número de trabajadores empleados en la elaboración de postes de CAC de media tensión.**

<b>POSTES DE MEDIA TENSIÓN</b>	
N° personas empleadas	7 personas
Costo hora-hombre	3,6 soles/hora
N° horas de trabajo	8

Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, en el proceso de elaboración de postes de CAC de media tensión se emplean 7 personas, por lo que cuando tarda en llegar la materia prima se pierde la producción lo que ocasiona que haya un costo de personal ocioso; llevando al siguiente análisis:

$$7 \text{ personas} * 3,6 \frac{\text{soles}}{\text{hora}} = 25,2 \text{ soles /hora}$$

En los 7 operarios se tiene un costo de mano de obra de 25,2 soles/hora, entonces 25,2 soles/hora por las 8 horas que se trabaja por turno se tiene un costo de mano de obra al día de S/ 201,65 al día, y a la semana S/. 1 209,6.

$$25,2 \frac{\text{soles}}{\text{hora}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 201,65 \frac{\text{soles}}{\text{día}} * \frac{6 \text{ días}}{1 \text{ semana}} = 1 209,6 \text{ soles/semana}$$

En conclusión se tiene un costo al día de personal ocioso de S/ 201,65.

Por otro lado, para la elaboración de postes de CAC de baja tensión se emplean 25 trabajadores, costo por hora de trabajo es de 3,6 soles/hora, y que se trabaja 8 horas por turno de trabajo, tal y como se muestra a continuación:

**Tabla N° 22: Número de trabajadores empleados en la elaboración de postes de CAC de baja tensión.**

<b>POSTES BAJA TENSIÓN</b>	
N° personas empleadas	25 personas
Costo hora-hombre	3,6 soles/hora
N° horas de trabajo	8

Fuente: Elaboración propia.

Entonces en base a los datos obtenidos se tienen los siguientes costos de mano de obra.

$$25 \text{ personas} * 3,6 \frac{\text{soles}}{\text{hora}} = 90 \text{ soles /hora}$$

En los 25 operarios se tiene un costo de mano de obra de 90 soles/hora, entonces 90 soles/hora por las 8 horas que se trabaja por turno se tiene un costo de mano de obra al día de S/. 720 al día, y a la semana S/. 4 320.

$$90 \frac{\text{soles}}{\text{hora}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 720 \frac{\text{soles}}{\text{día}} * \frac{6 \text{ días}}{\text{semana}} = 4\ 320 \text{ soles/semana}$$

En conclusión se tiene un costo al día de personal ocioso de S/. 720.

Aplicando la metodología DBR se verán reflejados el cumplimiento de la producción programada, eliminando el costo de producción incumplida y del personal ocioso.

### **C. El tiempo irregular de armado de la estructura del molde por parte de los operarios.**

Esto se ve reflejado en la rapidez de unos y la lentitud de otros para realizar esta actividad; es decir, la curva de aprendizaje de los operarios es distinta, además de factores externos que contribuyen a que no sea un proceso que se realice a un mismo ritmo, como es la carencia de materiales auxiliares, o el estado de los mismos. Para este inconveniente se realizó un control minucioso de tiempos y movimientos de todos los operarios el cual se basó en un estudio para determinar cuál es el tiempo que emplea un operario en condiciones normales para armar la estructura del molde.

Cabe resaltar que este estudio de tiempos se realizó a todos y cada uno de los trabajadores que realizan esta actividad, y el promedio del tiempo que emplean para armar una estructura por operario, fue obtenido estadísticamente, es entonces que por medio de esto se pudo obtener el tiempo de armado de cada uno de ellos.

#### **1. Etapa de elaboración de postes de CAC de media tensión:**

**Armado:** En la tabla N° 23, se muestra el promedio de tiempo en que arman una estructura del poste cada uno de los 7 trabajadores que operan en esta línea, tal y como se mostró en la descripción del problema de tiempo irregular de armado de la estructura del poste, este promedio fue calculado a través de una medición durante 52 días, mediante la herramienta estadística de muestreo por selección intencionada o muestreo de conveniencia. Estos datos se obtuvieron mediante una medición del tiempo con un cronómetro a cada uno de los operarios para observar cuanto tiempo se demoraban en armar la estructura del poste.

**Tabla N°23: Tiempos empleados para armar la estructura del poste de media tensión.**

<b>Operario</b>	<b>Tiempo</b>
Operario 1	25 minutos/und
Operario 2	26 minutos/und
Operario 3	41 minutos/und
Operario 4	45 minutos/und
Operario 5	42 minutos/und
Operario 6	45 minutos/und
Operario 7	43 minutos/und
Total	267 minutos/und

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo promedio en armar una estructura del poste de los 7 operarios que realizan esta actividad, permite obtener el tiempo en proceso por el total de operarios:

$$\text{Tiempo promedio} = \frac{267 \text{ minutos}}{7 \text{ operarios}} = 38,14 \frac{\text{min}}{\text{operario}}$$

Los 276 minutos se obtienen de la sumatoria de los tiempos que demora cada operario en armar la estructura del poste, teniendo como resultado 38,14 min/operario.

Para poder determinar cuál es el promedio de estructuras armadas en una hora por cada uno de los 7 operarios, se tiene en cuenta lo siguiente:

$$25 \frac{\text{min}}{\text{und}} = 0,04 \frac{\text{und}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 2,4 \frac{\text{und}}{\text{hora}}$$

**Tabla N° 24: Cantidad de unidades producidas por operario.**

<b>Operario</b>	<b>Producción por hora</b>
Operario 1	2,4 und/hora
Operario 2	2,3 und/hora
Operario 3	1,46 und/hora
Operario 4	1,33 und/hora
Operario 5	1,43 und/hora
Operario 6	1,33 und/hora
Operario 7	1,39 und/hora

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°24 se observa que a mayor tiempo de armar la estructura del molde hay menos unidades producidas en una hora lo que afecta la producción

diaria. Lo cual esto nos lleva a calcular el número de unidades producidas al día.

$$\text{Unidades producidas} = 2,4 \frac{\text{und}}{\text{hora}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{días}} = 19 \text{ unidades/día}$$

**Tabla N° 25: Cálculo de número de unidades producidas al día.**

<b>Operario</b>	<b>Producción diaria</b>
Operario 1	19 und/día
Operario 2	18 und/día
Operario 3	11 und/día
Operario 4	10 und/día
Operario 5	11 und/día
Operario 6	10 und/día
Operario 7	11 und/día

Fuente: Elaboración propia.

El número de unidades producidas al día permite determinar cuál será el tiempo a considerar en la operación de armado que será de 25 minutos, obteniéndose una producción diaria de 19 und/día. Determinando así realizar una comparación entre lo que se produce actualmente y lo que debería llegar a producir por día:

**Tabla N° 26: Cálculo de la producción futura.**

<b>Producción actual diaria</b>	<b>Producción al mes</b>	<b>Producción futura diaria</b>	<b>Producción futura al mes</b>
13 postes	338 postes	15 postes	390 postes

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla se puede mostrar las ventas que se obtendrá:

**Tabla N° 27: Cálculo de ventas futuras.**

<b>Producción actual al mes</b>	<b>Precio unitario (soles/poste)</b>	<b>Ventas actuales (soles/mes)</b>	<b>Producción futura al mes</b>	<b>Precio unitario (soles/poste)</b>	<b>Ventas futuras (soles/mes)</b>
338 postes	959,8	324 412,40	390 postes	959,8	374 322

Fuente: Elaboración propia.

Este cuadro nos muestra que las ventas actuales son de S/. 324 412,4 que se obtienen de la producción actual de 338 postes/mes a comparación de las ventas futuras que serían de S/. 374 322 que se obtendrían de la producción futura de

390 postes/mes, siendo una diferencia de S/. 49 909, 6/mes a favor de la empresa.

## 2. Etapa de elaboración de postes de CAC de baja tensión:

**Armado:** En la tabla N°28, se muestra el promedio de tiempo en que arman una estructura del poste cada uno de los 25 trabajadores que operan en esta línea, tal y como se mostró en la descripción del problema de tiempo irregular de armado de la estructura del poste, este promedio fue calculado a través de una medición durante 52 días, mediante la herramienta estadística de muestreo por selección intencionada o muestreo de conveniencia. Estos datos se obtuvieron mediante una medición del tiempo con un cronómetro a cada uno de los operarios para observar cuanto tiempo se demoraban en armar la estructura del poste.

**Tabla N° 28: Tiempos empleados para armar la estructura del poste de baja tensión.**

<b>Operario</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Operario</b>	<b>Tiempo</b>
Operario 1	15 minutos/und	Operario 14	21 minutos/und
Operario 2	23 minutos/und	Operario 15	17 minutos/und
Operario 3	30 minutos/und	Operario 16	30 minutos/und
Operario 4	30 minutos/und	Operario 17	18 minutos/und
Operario 5	20 minutos/und	Operario 18	30 minutos/und
Operario 6	22 minutos/und	Operario 19	19 minutos/und
Operario 7	21 minutos/und	Operario 20	30 minutos/und
Operario 8	22 minutos/und	Operario 21	21 minutos/und
Operario 9	30 minutos/und	Operario 22	18 minutos/und
Operario 10	16 minutos/und	Operario 23	30 minutos/und
Operario 11	20 minutos/und	Operario 24	16 minutos/und
Operario 12	16 minutos/und	Operario 25	22 minutos/und
Operario 13	19 minutos/und		
<b>Total</b>			556 minutos/und

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo promedio en armar una estructura del poste de los 25 operarios que realizan esta actividad, permite obtener el tiempo en proceso por el total de operarios:

$$\text{Tiempo promedio} = \frac{556 \text{ minutos}}{25 \text{ operarios}} = 22,24 \frac{\text{min}}{\text{operario}}$$

Los 556 minutos se obtienen de la sumatoria de los tiempos que demora cada operario en armar la estructura del poste, teniendo como resultado 22,24 min/operario.

Para poder determinar cuál es el promedio de estructuras armadas en una hora por cada uno de los 25 operarios, se tiene en cuenta lo siguiente:

$$15 \frac{\text{min}}{\text{und}} = 0,067 \frac{\text{und}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 4 \frac{\text{und}}{\text{hora}}$$

**Tabla N° 29: Cantidad de unidades producidas por operario.**

<b>Operario</b>	<b>Producción por hora</b>	<b>Operario</b>	<b>Producción por hora</b>
Operario 1	4 und/hora	Operario 14	2,86 und/hora
Operario 2	2,61 und/hora	Operario 15	3,53 und/hora
Operario 3	2 und/hora	Operario 16	2 und/hora
Operario 4	2 und/hora	Operario 17	3,3 und/hora
Operario 5	3 und/hora	Operario 18	2 und/hora
Operario 6	2,73 und/hora	Operario 19	3,16 und/hora
Operario 7	2,86 und/hora	Operario 20	2 und/hora
Operario 8	2,73 und/hora	Operario 21	2,86 und/hora
Operario 9	2 und/hora	Operario 22	3,33 und/hora
Operario 10	3,75 und/hora	Operario 23	2 und/hora
Operario 11	3 und/hora	Operario 24	3,75 und/hora
Operario 12	3,75 und/hora	Operario 25	2,73 und/hora
Operario 13	3,16 und/hora		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 29 se observa que ha mayor tiempo de armar la estructura del molde hay menor unidades producidas en una hora lo que afecta la producción diaria. Lo cual esto nos lleva a calcular el número de unidades producidas al día.

$$\text{Unidades producidas} = 4 \frac{\text{und}}{\text{hora}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{días}} = 32 \text{ unidades/día}$$

**Tabla N° 30: Cálculo de número de unidades producidas al día.**

<b>Operario</b>	<b>Producción diaria</b>	<b>Operario</b>	<b>Producción diaria</b>
Operario 1	32 und/día	Operario 14	22 und/día
Operario 2	20 und/día	Operario 15	28 und/día
Operario 3	16 und/día	Operario 16	16 und/día
Operario 4	16 und/día	Operario 17	26 und/día
Operario 5	24 und/día	Operario 18	16 und/día
Operario 6	21 und/día	Operario 19	25 und/día
Operario 7	22 und/día	Operario 20	16 und/día
Operario 8	21 und/día	Operario 21	22 und/día
Operario 9	16 und/día	Operario 22	26 und/día
Operario 10	30 und/día	Operario 23	16 und/día
Operario 11	24 und/día	Operario 24	30 und/día
Operario 12	30 und/día	Operario 25	21 und/día
Operario 13	25 und/día		

Fuente: Elaboración propia.

El número de unidades producidas al día permite determinar cuál será el tiempo a tomar en la operación de armado que será de 15 minutos, obteniéndose una producción diaria de 32 postes/día. Determinando así realizar una comparación entre lo que se produce actualmente y lo que debería llegar a producir por día:

**Tabla N° 31: Calculo de la producción futura.**

<b>Producción actual al día</b>	<b>Producción al mes</b>	<b>Producción futura al día</b>	<b>Producción futura al mes</b>
25 postes	650 postes	28 postes	734 postes

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla se puede mostrar las ventas que se obtendrá:

**Tabla N° 32: Cálculo de ventas futuras.**

<b>Producción actual al mes</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Ventas actuales</b>	<b>Producción futura al mes</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Ventas futuras</b>
650 postes	S/.345,32	S/.224 458	734 postes	S/.345,32	S/. 253 505,51

Fuente: Elaboración propia.

Este cuadro nos muestra que las ventas actuales son de S/. 224 458 que se obtienen de la producción actual de 650 postes/mes a comparación de las ventas futuras que serían de S/. 253 505,51 que se obtendrían de la producción futura de 734 postes/mes, siendo una diferencia de S/. 29 047,51/mes a favor de la empresa.

#### **D. El tiempo irregular para alistar el molde y la variación del número de operarios por cada etapa del proceso.**

Esto se ve reflejado en la rapidez de unos y la lentitud de otros para realizar la actividad; es decir, la curva de aprendizaje de los operarios es distinta, además de factores externos que contribuyen a que no sea un proceso que se realice a un mismo ritmo, como es la carencia de materiales auxiliares, o el estado de los mismos. Para este inconveniente se realizó un control minucioso de tiempos y movimientos de todos los operarios el cual se basó en un estudio para determinar cuál es el tiempo que emplea un operario en condiciones normales para la operación de alistado del molde.

Cabe resaltar que este estudio de tiempos se realizó a todos y cada uno de los trabajadores que realizan esta actividad, y el promedio del tiempo que emplean para alistar el molde por operario fue obtenido estadísticamente, es entonces que por medio de esto se pudo obtener el tiempo de alistado del molde de cada uno de los operarios.

##### **1. Etapa de elaboración de postes de CAC de media tensión:**

**Alistado de molde:** En la tabla N°33, se muestra el promedio de tiempo en que alistar el molde por los 7 trabajadores que operan en esta línea, tal y como se mostró en la descripción del problema de tiempo irregular de alistado del molde del poste, este promedio fue calculado a través de una medición durante 52 días, mediante la herramienta estadística de muestreo por selección intencionada o muestreo de conveniencia. Estos datos se obtuvieron mediante una medición del tiempo con un cronómetro a cada uno de los operarios para observar cuánto tiempo se demoraban en alistar el molde del poste.

**Tabla N° 33: Tiempos empleados para alistar el molde (media tensión)**

<b>Operario</b>	<b>Tiempo</b>
Operario 1	24 minutos
Operario 2	22 minutos
Operario 3	30 minutos
Operario 4	26 minutos
Operario 5	28 minutos
Operario 6	27 minutos
Operario 7	29 minutos
Total	186 minutos

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo promedio en alistar el molde del poste de los 7 operarios que realizan esta actividad, permite obtener el tiempo en proceso por el total de operarios.

$$\text{Tiempo promedio} = \frac{186 \text{ minutos}}{7 \text{ operarios}} = 26,57 \frac{\text{min}}{\text{operario}}$$

Los 186 minutos se obtienen de la sumatoria de los tiempos que demora cada operario en alistar el molde del poste, teniendo como resultado 26,57 min/operario.

Para poder determinar cuál es el promedio de moldes alistados en una hora por cada uno de los 7 operarios, se tiene en cuenta lo siguiente:

$$22 \frac{\text{min}}{\text{und}} = 0,04 \frac{\text{und}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 2,7 \frac{\text{und}}{\text{hora}}$$

**Tabla N° 34: Cantidad de unidades producidas por operario.**

<b>Operario</b>	<b>Producción por hora</b>
Operario 1	2,5 und/hora
Operario 2	2,7 und/hora
Operario 3	2 und/hora
Operario 4	2,31 und/hora
Operario 5	2,14 und/hora
Operario 6	2,22 und/hora
Operario 7	2,07 und/hora

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 34 se observa que a mayor tiempo de alistar el molde hay menos unidades producidas en una hora lo que afecta la producción diaria. Lo cual esto nos lleva a calcular el número de unidades producidas al día.

$$\text{Unidades producidas} = 2,5 \frac{\text{und}}{\text{hora}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{días}} = 19 \text{ unidades/día}$$

**Tabla N° 35: Cálculo de número de unidades producidas al día.**

<b>Operario</b>	<b>Producción diaria</b>
1	19 und/día
2	22 und/día
3	16 und/día
4	18 und/día
5	17 und/día
6	18 und/día
7	17 und/día

Fuente: Elaboración propia.-

El número de unidades producidas al día permite determinar cuál será el tiempo a considerar en la operación de alistar el molde que será de 32 minutos para que no haya retrasos en la producción.

## 2. Etapa de elaboración de postes de CAC de baja tensión:

**Alistado de molde:** En la tabla N°36 se muestra el promedio de tiempo en que alistar el molde por los 25 trabajadores que operan en esta línea, tal y como se mostró en la descripción del problema de tiempo irregular de alistado del molde del poste, este promedio fue calculado a través de una medición durante 52 días, mediante la herramienta estadística de muestreo por selección intencionada o muestreo de conveniencia. Estos datos se obtuvieron mediante una medición del tiempo con un cronómetro a cada uno de los operarios para observar cuanto tiempo se demoraban en alistar el molde del poste.

**Tabla N° 36: Tiempos empleados para alistar el molde (baja tensión)**

<b>Operario</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Operario</b>	<b>Tiempo</b>
Operario 1	15 minutos/und	Operario 14	21 minutos/und
Operario 2	17 minutos/und	Operario 15	17 minutos/und
Operario 3	20 minutos/und	Operario 16	18 minutos/und
Operario 4	16 minutos/und	Operario 17	18 minutos/und
Operario 5	15 minutos/und	Operario 18	17 minutos/und
Operario 6	20 minutos/und	Operario 19	19 minutos/und
Operario 7	16 minutos/und	Operario 20	20 minutos/und
Operario 8	17 minutos/und	Operario 21	21 minutos/und
Operario 9	19 minutos/und	Operario 22	19 minutos/und
Operario 10	16 minutos/und	Operario 23	18 minutos/und
Operario 11	18 minutos/und	Operario 24	16 minutos/und
Operario 12	16 minutos/und	Operario 25	22 minutos/und
Operario 13	19 minutos/und		
<b>Total</b>			<b>450 minutos/und</b>

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo promedio en alistar el molde del poste de los 25 operarios que realizan esta actividad, permite obtener el tiempo en proceso por el total de operarios:

$$\text{Tiempo promedio} = \frac{450 \text{ minutos}}{25 \text{ operarios}} = 18 \frac{\text{min}}{\text{operario}}$$

Los 450 minutos se obtienen de la sumatoria de los tiempos que demora cada operario en alistar el molde del poste, teniendo como resultado promedio 18 min/operario.

Para poder determinar cuál es el promedio de moldes alistados en una hora por cada uno de los 25 operarios, se tiene en cuenta lo siguiente:

$$15 \frac{\text{min}}{\text{und}} = 0,06 \frac{\text{und}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 4 \frac{\text{und}}{\text{hora}}$$

**Tabla N° 37: Cantidad de unidades producidas por operario.**

<b>Operario</b>	<b>Producción por hora</b>	<b>Operario</b>	<b>Producción por hora</b>
Operario 1	4 und/hora	Operario 14	2,86 und/hora
Operario 2	3,53 und/hora	Operario 15	3,53 und/hora
Operario 3	3, und/hora	Operario 16	3,33 und/hora
Operario 4	3,75 und/hora	Operario 17	3,33 und/hora
Operario 5	4, und/hora	Operario 18	3,53 und/hora
Operario 6	3, und/hora	Operario 19	3,16 und/hora
Operario 7	3,75 und/hora	Operario 20	3,00 und/hora
Operario 8	3,53 und/hora	Operario 21	2,86 und/hora
Operario 9	3,16 und/hora	Operario 22	3,16 und/hora
Operario 10	3,75 und/hora	Operario 23	3,33 und/hora
Operario 11	3,33 und/hora	Operario 24	3,75 und/hora
Operario 12	3,75 und/hora	Operario 25	2,73 und/hora
Operario 13	3,16 und/hora		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 37 se observa que a mayor tiempo de alistar el molde hay menos unidades producidas en una hora lo que afecta la producción diaria. Lo cual esto nos lleva a calcular el número de unidades producidas al día.

$$\text{Unidades producidas} = 4 \frac{\text{und}}{\text{hora}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{días}} = 32 \text{ unidades}$$

**Tabla N° 38: Cálculo de número de unidades producidas al día.**

<b>Operario</b>	<b>Producción diaria</b>	<b>Operario</b>	<b>Producción diaria</b>
Operario 1	32 und/día	Operario 14	23 und/día
Operario 2	28 und/día	Operario 15	28 und/día
Operario 3	24 und/día	Operario 16	27 und/día
Operario 4	30 und/día	Operario 17	27 und/día
Operario 5	32 und/día	Operario 18	28 und/día
Operario 6	24 und/día	Operario 19	25 und/día
Operario 7	30 und/día	Operario 20	24 und/día
Operario 8	28 und/día	Operario 21	23 und/día
Operario 9	25 und/día	Operario 22	25 und/día
Operario 10	30 und/día	Operario 23	27 und/día
Operario 11	27 und/día	Operario 24	30 und/día
Operario 12	30 und/día	Operario 25	22 und/día
Operario 13	25 und/día		

Fuente: Elaboración propia.

El número de unidades producidas al día permite determinar cuál será el tiempo a considerar en la operación de alistar el molde que será de 17 minutos para que no haya retrasos en la producción.

Para ello es importante considerar la capacitación al personal para que le ayude a comprender la importancia de lo que realizan y mejoren en sus puestos de trabajo. Se motivará al personal mediante:

➤ **Técnica de motivación – recompensa extrínseca:**

Por un determinado nivel de producción mensual, el personal ganador obtendrá un plus, el nivel de producción estará ligado según los lineamientos que se considere necesarios por el ingeniero de planta.

➤ **Técnica de motivación – recompensa intrínseca:**

Las capacitaciones se les dará a todos los trabajadores de la empresa, se tratarán temas generales y necesarios para todos, estas charlas ayudarán a la interrelación entre compañeros de trabajo, aumentará la comunicación y la interacción con el jefe; también se hablará del proceso de producción en general, el objetivo de estas capacitaciones es que los trabajadores conozcan, tengan la capacidad para dirigir y tomar decisiones si el supervisor no se encuentra cerca.

En la tabla N° 39 se muestra los temas a tratarse en las capacitaciones:

**Tabla N° 39: Temas a dictarse.**

<b>Charlas a dictarse</b>
De la visión a la acción.
Ser quien sueñas ser.
Trabajo en equipo.
Los tres ingredientes de la productividad: motivación, objetivos y hacer.
Importancia del trabajador para la empresa.
Pilares de una empresa: comunicación.
Proceso de producción.

#### **E. Pedidos no atendidos por la empresa.**

La empresa actualmente tiene que rechazar algunos pedidos porque no se podrá entregar el pedido al cliente a la fecha solicitada debido a las demoras que se presentan en producción. En la tabla N°40 se muestra el número de pedidos que se ha rechazado y la cantidad promedio de postes por pedido, para poder cubrir los pedidos se analizará con respecto a la producción que se tendrá una vez realizada la mejora en el cuello de botella (armado).

**Tabla N° 40: Pedidos rechazados.**

<b>Mes</b>	<b>Número de pedidos rechazados</b>	<b>Cantidad de postes por pedido</b>
Mes 1	3	70 postes/pedido
		55 postes/pedido
		60 postes/pedido
Mes 2	2	80 postes/pedido
		66 postes/pedido
Mes 3	2	60 postes/pedido
		50 postes/pedido
Mes 4	2	60 postes/pedido
		90 postes/pedido
Mes 5	2	85 postes/pedido
		77 postes/pedido
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>753</b> postes/pedido

Fuente: Elaboración propia.

La producción que se realizará al mes es de 390 postes de media tensión y 734 postes de baja tensión que representa un promedio de 136 postes más de lo que se produce actualmente pudiendo cubrir la demanda, llevando al siguiente análisis:

**Tabla N° 41: Promedio de ventas futuras.**

<b>Producción futura al mes</b>	<b>Precio venta promedio</b>	<b>Ventas al mes</b>
136 postes	S/. 696,43	S/.94 714, 48
136 postes	S/. 696,43	S/.94 714, 48
136 postes	S/. 696,43	S/.94 714, 48
136 postes	S/. 696,43	S/.94 714, 48
136 postes	S/. 696,43	S/.94 714, 48
	Promedio de ventas	S/.94 714, 48

Fuente: Elaboración propia.

La tabla N°41 muestra el promedio de ventas por mes de S/. 94 714, 48 que se llegaría a obtener si se llegará a cubrir los pedidos de postes.

## **4.2 NUEVOS INDICADORES DE PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD:**

Para establecer de qué manera los planes de mejora tuvieron resultados, se muestra a continuación el nuevo cálculo de los indicadores de producción. Los cuáles serán comparados posteriormente con los obtenidos en el capítulo de diagnóstico.

### **4.2.1. Productividad: De los materiales, del recurso humano, económico.**

#### **A. Producción.**

Este indicador fue calculado en el capítulo de diagnóstico, teniendo un resultado de producción actual de 13 postes/día de media tensión y 25 postes/día de baja tensión, pero a través del plan de mejora donde se propone realizar un control y planificación en la compra de materia prima, capacitar a todo el personal para que cuente con las habilidades y sea más productivo y realizando un control minucioso de tiempos y movimientos permitirá que se

obtengan más postes de concreto armado centrifugado. Como se muestra a continuación:

Teniendo en cuenta que se reducirá el tiempo en la operación de armado, entonces la nueva producción será de:

$$\text{Producción (P.CAC. media tensión)} = \frac{480 \text{ min/día}}{32 \text{ min/und}} = 15 \text{ postes/día}$$

$$\text{Producción (P.CAC. baja tensión)} = \frac{480 \text{ min/día}}{17 \text{ min/und}} = 28 \text{ postes/día}$$

### **B. Productividad.**

Para establecer de qué manera se venían utilizando los recursos, en base a la cantidad de materia prima que ingresaba al proceso, se tiene que en el capítulo de diagnóstico, se obtuvo que en cuanto a productividad de materiales que procesan 913,8 kg/día (PCAC media tensión) y 890 kg/día (PCAC baja tensión), productividad de mano de obra se tiene que cada operario procesa 68,48 kilogramos por día, y finalmente que la productividad económica es que se invierte es de 1,45 soles por cada kilogramos procesado. Frente a los planes de mejora propuestos, con relación, al mayor ritmo de ingreso de materia prima, la mejor productividad de los operarios en la etapa de armado, se puede notar a continuación el aumento de los indicadores de productividad.

La productividad de materiales, en base a la propuesta, será que se procesarán 1,64 toneladas al día en postes de media tensión y 1,12 toneladas al día en postes de baja tensión, existiendo una merma del 4,27 % y con respecto a los postes de baja tensión existe una merma del 6,25 %.

$$\rho \text{ materiales} = \frac{1,57 \text{ tn/día}}{1,64 \text{ tn/día}} = 0,957 \frac{\text{tn}}{\text{día}} = 957,32 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{ (media tensión)}$$

$$\rho \text{ materiales} = \frac{1,05 \text{ tn/día}}{1,12 \text{ tn/día}} = 0,937 \frac{\text{tn}}{\text{día}} = 937,5 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{ (baja tensión)}$$

La productividad de mano de obra en base a la propuesta, será que cada operario procesa 81,88 kilogramos por día.

$$\rho \text{ mano de obra} = \frac{1 \text{ 570 kg/día} + 1 \text{ 050 kg/día}}{32 \text{ operario}} = 81,88 \text{ kg. Día/operario}$$

La productividad económica en base a la propuesta, será de 0,98 soles/kg.

$$\rho \text{ económica} = \frac{1\,570 \text{ kg} + 1\,050 \text{ kg}}{(32 \text{ op} \times 28,8 \text{ S/./op}) + (8 \text{ kg} \times \text{S/./kg}) + (2\,760 \text{ kg} \times 0,6161 \text{ S/./kg})} = 0,98 \text{ soles/kg}$$

#### 4.2.2. Capacidad: Real, Utilizada, Ociosa.

El aumento de producción de postes hará que se reduzca la capacidad ociosa de las principales máquinas del proceso de elaboración de postes de concreto armado centrifugado, que es la máquina mezcladora; a continuación se muestra como aumentará la capacidad utilizada y como disminuirá la capacidad ociosa.

En primer lugar, observaremos el aumento de la capacidad utilizada de las máquinas mezcladoras, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla N° 42: Datos de capacidad en base a mejora propuesta**

<b>Capacidad de maquinaria</b>	
Capacidad de las mezcladoras	3 600 kg/día
Capacidad utilizada	2 450 kg/día
Requerimiento de procesamiento	520 kg/día
Capacidad utilizada en base a propuesta	2 970 kg/día

Fuente: Elaboración propia.

La nueva capacidad utilizada de las mezcladoras estará dada por la producción normal de la empresa y la producción que se aumentará, notándose que la capacidad utilizada aumentaría a 2 970 kilogramos por día, que se obtiene de la sumatoria de los 2 450 kg/día más el requerimiento de procesamiento de 520 kg/día.

Este aumento de la capacidad utilizada permitirá obtener el porcentaje de utilización en base a los planes de mejora propuestos, el cual como se observa aumenta de 68,06 % de utilización actual a un 82,5%.

$$\text{Utilización} = \frac{2\,970}{3\,600} = 0,825 * 100 = 82,5 \%$$

La capacidad ociosa a través del aumento de la capacidad utilizada, disminuiría de 1 150 kilogramos a 234 kilogramos, tal y como se muestra a continuación:

Capacidad ociosa = Real - Utilizada

$$\text{Capacidad Ociosa} = 3\,600 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 2\,970 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 630 \text{ kg.}$$

#### 4.2.3. Tiempos estándares.

En base a la propuesta de estandarización del tiempo de armado de la estructura del molde en base a un estudio de tiempos y movimientos, se notara que los tiempos han disminuido, esto se muestra a continuación:

##### A. Proceso de elaboración de postes de concreto armado centrifugado de media tensión.

Tabla N° 43: Datos de tiempos en base a mejora propuesta

Actividad	Tiempo
Armado	32 minutos
Alistado del molde	22 minutos
Mezclado	13 minutos
Vaciado del concreto	15 minutos
Tapado y Empernado	9 minutos
Centrifugado	4,8 minutos
Desmoldado	7,5 minutos
Curado	8 días
Acabado	23,7 minutos

Fuente: Elaboración propia.

##### B. Proceso de elaboración de postes de concreto armado centrifugado de baja tensión.

Tabla N°44: Datos de tiempos en base a mejora propuesta.

Actividad	Tiempo
Armado	17 minutos
Alistado del molde	15 minutos
Mezclado	10 minutos
Vaciado del concreto	7 minutos
Tapado y Empernado	5,17 minutos
Centrifugado	3,42 minutos
Desmoldado	2,28 minutos

Curado	8 días
Acabado	16,38 minutos

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4. Cuello de botella.

A través de los nuevos tiempos de procesamiento, se tiene los siguientes cuellos de botella:

**Postes de CAC de media tensión:** armado (32 minutos) – acabado (23,7 minutos).

**Postes de CAC de baja tensión:** armado (17 minutos) - acabado (16, 38 minutos)

#### 4.2.5. Tiempo ciclo total.

El tiempo de ciclo, en base a los planes de mejora, se mostrará a continuación, teniéndose tiempo de ciclo total para la elaboración de postes de concreto armado centrifugado de media y baja tensión.

**Tabla N° 45: Tiempo de ciclo total**

Proceso	Tiempo de ciclo actual	Tiempo de ciclo en base a la propuesta
Proceso de PCAC media tensión	2 horas 5 minutos	1 hora 54 minutos
Proceso de PCAC baja tensión	1 hora 9 minutos	1 hora 6 minutos

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.6. Eficiencia.

Para establecer qué resultados se obtuvieron en base a los recursos empleados utilizando la cantidad de materia prima que ingresaba al proceso y frente a los planes de mejora propuestos, con relación, al mayor ritmo de ingreso de materia prima, la mejor productividad de los operarios se puede notar a continuación el aumento de los indicadores de eficiencia.

La eficiencia física en base a la propuesta, será que por cada kilogramo procesado se aprovechara el 94,91% existiendo una merma de solo el 5,07 %.

$$E_{\text{física}} = \frac{1,57 \frac{\text{tn}}{\text{día}} + 1,05 \frac{\text{tn}}{\text{día}}}{1,64 \frac{\text{tn}}{\text{día}} + 1,12 \frac{\text{tn}}{\text{día}}} = 0,9492 * 100 = 94,92\%$$

La eficiencia económica en base a la propuesta, será que por cada sol invertido se obtiene una ganancia de 0,24 soles.

$$E_{\text{económica}} = \frac{(1,57 \frac{\text{tn}}{\text{día}} + 1,05 \frac{\text{tn}}{\text{día}}) (696,43 \frac{\text{soles}}{\text{poste}})}{(1,64 \frac{\text{tn}}{\text{día}} + 1,12 \frac{\text{tn}}{\text{día}}) (531,71 \frac{\text{soles}}{\text{poste}})} = 1,24 \text{ soles}$$

### 4.3. CUADRO COMPARATIVO DE INDICADORES.

#### 4.3.1. Indicadores de producción del proceso de elaboración de PCAC.

Identificadas, analizadas y levantadas las restricciones encontradas en la etapa de diagnóstico, se pudieron calcular nuevamente los indicadores de producción de la empresa manufacturera en sus dos líneas de producción de postes de concreto armado centrifugado de media y baja tensión. Tal y como se mostrarán en la tabla N° 46.

**Tabla N° 46: Cuadro Comparativo de indicadores de producción de PCAC.**

<b>Indicadores de productividad</b>	<b>Actuales</b>	<b>En base a mejora</b>
Producción de postes de media tensión	13 postes/día	15 postes/día
Producción de postes de baja tensión	25 postes/día	28 postes/día
Productividad de materiales de media tensión	913,8 kg/día	957,32 kg/día
Productividad de materiales de baja tensión	890 kg/día	937,5 kg/día
Productividad Mano obra	68,48 kg/operario	81,88 kg/operario
Productividad económica	0,79 soles/kg	0,98 soles/kg
Capacidad utilizada	2 450 kg/día	2 970 kg/día
Capacidad ociosa	1 150 kg/día	630 kg/día
Utilización	68,06%	82,5%
Eficiencia física	90,4 %	94,92 %
Eficiencia económica	1,18 soles	1,24 soles

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 46 resalta el aumento en la producción, es decir en la cantidad de postes que se elaboran al día, teniendo un aumento aproximadamente de 2 postes de media tensión y 3 postes de baja tensión, lo que guarda relación con un aumento de 43,52 kilogramos en la productividad de materiales en postes de media tensión y 47,5 kilogramos en la productividad de materiales en postes de baja tensión, en cuanto a productividad de mano de obra se observa un incremento de 13,4 kilogramos por operario, también se notó un incremento de 0,19 soles por kilogramo procesado en la productividad económica, por otro lado la capacidad utilizada aumentó a 2 970 kilogramos, reduciéndose la capacidad ociosa a 630 kilogramos, aumentando la utilización a 82,5%, con una eficiencia física que aumentó a 94,92%, teniendo como resultado una eficiencia económica de que por cada sol invertido al elaborar postes de concreto armado centrifugado se obtiene un ganancia de 0,24 soles.

**4.3.2. Indicadores en base al tiempo del proceso de elaboración de postes de concreto armado centrifugado:**

Identificadas, analizadas y levantadas las restricciones encontradas en la etapa de diagnóstico, se pudieron calcular nuevamente los indicadores de producción de esta empresa manufacturera en sus dos líneas de producción de PCAC de media y baja tensión, donde también se mostraron variaciones en cuanto a tiempos de procesamiento y tiempos de cuellos de botella en los que se basa la aplicación de la Teoría de restricciones, tal y como se mostrarán en la tabla N° 47 y N°48.

**Tabla N° 47: Comparativo de tiempos de elaboración de postes de media tensión.**

<b>Tiempos estándares producción de postes de CAC de media tensión</b>	<b>Actuales</b>	<b>En base a la mejora</b>
Armado	38 minutos	32 minutos
Alistado del molde	24 minutos	22 minutos
Mezclado	13 minutos	13 minutos
Vaciado del concreto	18 minutos	15 minutos
Tapado y Empernado	9 minutos	9 minutos
Centrifugado	4,8 minutos	4,8 minutos
Desmoldado	7,5 minutos	7,5 minutos
Curado	8 días	8 días
Acabado	23,7 minutos	23,7 minutos
Tiempo de procesamiento	2 horas 5 minutos	1 hora 54 minutos

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 48: Comparativo de tiempos de elaboración de postes de baja tensión.**

<b>Tiempos estándares producción de postes de CAC de baja tensión</b>	<b>Actuales</b>	<b>En base a la mejora</b>
Armado	19 minutos	17 minutos
Alistado del molde	15,57 minutos	15 minutos
Mezclado	10 minutos	10 minutos
Vaciado del concreto	7,24 minutos	7 minutos
Tapado y Empernado	5,17 minutos	5,17 minutos
Centrifugado	3,42 minutos	3,42 minutos
Desmoldado	2,28 minutos	2,28 minutos
Curado	8 días	8 días
Acabado	16,38 minutos	16,38 minutos
Tiempo de procesamiento	1 hora 9 minutos	1 hora 6 minutos

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°47 y N°48 muestra como los tiempos de elaboración de postes de concreto armado centrifugado de media y baja tensión se han reducido, en el caso de elaboración de postes de concreto de media tensión el tiempo de producción se redujo 11 minutos, y en el de elaboración de postes de concreto de baja tensión se redujo en 3 minutos, en cuanto a los denominados cuellos de botella en el proceso, en la elaboración de postes de media tensión se tiene que el tiempo de cuello de botella se redujo a 32 minutos y con lo que respecta a postes de baja tensión se tiene que el cuello de botella se redujo a 17 minutos, pero analizándose de una manera global existe la reducción de tiempos de elaboración de postes.

## V. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.

### 5.1. Pronóstico de ventas:

El pronóstico de ventas de postes de concreto armado centrifugado de media y baja tensión será obtenido en base al histórico de ventas de esta empresa. El cual será proyectado en base al Método de Programación Lineal.

Método de la línea recta:  $Y = a + bX$

**Tabla N° 49: Análisis de ventas de postes de CAC de media y baja tensión.**

Año	t	Y <sub>t</sub>	t*Y <sub>t</sub>	t <sup>2</sup>
2009	1	4 801	4 801	1
2010	2	4 899	9 798	4
2011	3	5 010	15 030	9
2012	4	5 225	20 900	16
2012	5	5 311	26 555	25
2014	6	5 319	31 914	36
<b>Σ</b>	<b>21</b>	<b>30 565</b>	<b>108 998</b>	<b>91</b>

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de "b<sub>1</sub>":

$$b_1 = \frac{\sum tY_t - (\sum t \cdot \sum Y_t) / n}{\sum t^2 - (\sum t)^2 / n}$$

$$b_1 = \frac{108\,998 - \frac{21 \cdot 30\,565}{6}}{91 - \frac{([21])^2}{6}}$$

$$b_1 = 115,46$$

Cálculo de "b<sub>0</sub>":

$$\sum Y_t / n = 30\,565 / 6 = 5\,094,166667$$

$$\sum t/n = \frac{21}{6} = 3,5$$

$$b_0 = 5\,094,166667 - 115,4571429 * 3,5$$

$$b_0 = 4\,690,06$$

Este método nos permite realizar el pronóstico de ventas para un período de 6 años en base a la mejora propuesta.

**Tabla N° 50: Ventas proyectadas de postes de concreto armado centrifugado.**

Año	t	T <sub>t</sub>
		$T_t = b_0 + b_1 * t$
2015	7	5 498
2016	8	5 614
2017	9	5 729
2018	10	5 845
2019	11	5 960
2020	12	6 076

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Evaluación del beneficio económico.

La ventas proyectadas mostradas en la tabla N° 46 permitirán, establecer el beneficio económico en cuanto a los planes de mejora propuestos.

**Tabla N° 51: Variables Generales**

PRODUCTO	PCAC
UNIDAD DE MEDIDA	Metros
PRECIO DE VENTA PROMEDIO	S/. 696,43/poste
SUELDOS	TOTAL
Gerente general	S/. 108 720
Administrador	S/. 81 540
Jefe de producción	S/. 33 522
Jefe de logística	S/. 33 522
Asistente de ventas	S/. 18 120
Supervisor logístico	S/. 18 120
Supervisor de producción	S/. 18 120
Operarios	S/. 434 880

Mantenimiento	S/. 42 000
<b>Total</b>	<b>S/. 788 544</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°52 se muestra las ventas de un intervalo de 6 años, teniendo en consideración el precio de venta de cada poste elaborado. Para poder comprender mejor el cálculo de flujo de caja se tiene el programa de ventas proyectadas como se mostró anteriormente que permitirá determinar los ingresos en los que se basará el plan de mejora.

**Tabla N° 52: Programa de ventas proyectadas.**

<b>Periodo</b>	<b>Unidades vendidas</b>	<b>Precio promedio</b>	<b>Ingresos</b>
Año 2015	5 498 postes	S/. 696,43	S/. 3 828 972,14
Año 2016	5 614 postes	S/. 696,43	S/. 3 909 758,02
Año 2017	5 729 postes	S/. 696,43	S/. 3 989 847,47
Año 2018	5 845 postes	S/. 696,43	S/. 4 070 633,35
Año 2019	5 960 postes	S/. 696,43	S/. 4 150 722,80
Año 2020	6 076 postes	S/. 696,43	S/. 4 231 508,68

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°53 se muestra la inversión requerida para llevar a cabo la mejora que se ha propuesto.

**Tabla N° 53: Inversión requerida para la mejora.**

<b>Rubros</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Inversión total</b>
Capacitación al jefe de producción	1	S/. 1 800	S/. 27 000
Entrenamiento al personal	24	S/. 350	S/. 5 600
Capacitaciones			
De la visión a la acción	1	S/. 1 000	S/. 7 000
Ser quien sueñas ser	1		
Trabajo en equipo	1		
Los tres ingredientes de la productividad: motivación, objetivos y hacer.	1		
Importancia del trabajador para la empresa	1		
Pilares de una empresa: comunicación.	1		
Proceso de producción	1		
<b>Total</b>			<b>S/. 39 600</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 54: Balance general de los ingresos y egresos de la empresa.**

		<b>Año 2015</b>	<b>Año 2016</b>	<b>Año 2017</b>	<b>Año 2018</b>	<b>Año 2019</b>	<b>Año 2020</b>
+	Ingresos Totales	S/. 3 828 972,14	S/. 3 909 758,02	S/. 3 989 847,47	S/. 4 070 633,35	S/. 4 150 722,8	S/. 4 231 508,68
-	Costos totales de Producción	S/. 2 923 341,58	S/. 2 985 019,94	S/. 3 046 166,59	S/. 3 107 844,95	S/. 3 168 991,6	S/. 3 230 669,96
=	Utilidad Bruta	S/. 905 630,56	S/. 924 738,08	S/. 943 680,88	S/. 962 788,40	S/. 981 731,2	S/. 1 000 838,72
-	Gastos administrativos	S/. 311 664	S/. 311 664	S/. 311 664	S/. 311 664	S/. 311 664	S/. 311 664
-	Sueldos de operarios	S/. 434 880	S/. 434 880	S/. 434 880	S/. 434 880	S/. 434 880	S/. 434 880
-	Mantenimiento	S/. 42 000	S/. 42 000	S/. 42 000	S/. 42 000	S/. 42 000	S/. 42 000
=	Utilidad Operativa	S/. 117 086,56	S/. 136 194,08	S/. 155 136,88	S/. 174 244,4	S/. 193 187,20	S/. 212 294,72
-	Impuestos a la renta	S/. 35 125,97	S/. 40 858,22	S/. 46 541,06	S/. 52 273,32	S/. 57 956,16	S/. 63 688,42
-	Inversión para la mejora	S/. 39 600	S/. 9 600	S/. 9 600	S/. 9 600	S/. 9 600	S/. 9 600
=	<b>Utilidad neta</b>	S/. 42 360,59	S/. 85 735,86	S/. 98 995,82	S/. 112 371,08	S/. 125 631,04	S/. 139 006,30

Fuente: Elaboración propia.

## VI. PLANES DE ACCION PARA LA MEJORA:

Tabla N°55: Plan de acción para la mejora

<b>OBJETIVO DE MEJORAMIENTO:</b> Identificar, analizar y levantar las restricciones existentes en las líneas de elaboración de postes de concreto armado centrifugado de media y baja tensión.																					
ACTIVIDAD	RESPON-SABLE	CRONOGRAMA												RECURSOS			PRESU-PUESTO	RESULTADO			
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MAT	HUM	EQU					
1. Ingreso a tiempo de la materia prima al proceso.	JEFE DE PRODUCCIÓN	X	X														-	-	-	-	Control y planificación de la materia prima.
2. Producción programada cumplida.	JEFE DE PRODUCCIÓN	X	X														-	-	-	-	Planificación de producción.
3. Incremento de la eficiencia en la etapa de armado.	JEFE DE PRODUCCIÓN		X	X	X												-	-	-	-	Aumento de la productividad en la etapa de armado.
4. Incremento de la eficiencia en la etapa de alistado del molde.	JEFE DE PRODUCCIÓN		X	X	X												-	-	-	-	Aumento de la productividad en la etapa de alistado del molde.
5. Incremento de pedidos aceptados por parte de la empresa.	JEFE DE PRODUCCIÓN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	Aumento de la producción de postes.

Fuente: Elaboración propia.

## VII. CONCLUSIONES:

A través del diagnóstico realizado en base a la situación actual de la empresa, aplicando metodologías de estudio del trabajo, se determinó que existían las siguientes restricciones, retraso de la materia prima, producción programada incumplida, tiempo irregular en el armado de la estructura del molde, tiempo irregular para alistar el molde y pedidos no atendidos por parte de la empresa.

Mediante este diagnóstico se obtuvieron indicadores actuales de producción tales como, la producción de postes de media tensión (13 postes/día), producción de postes de baja tensión (25 postes/día), productividad de materiales en postes de media tensión (913,8 kg/día), productividad de materiales en postes de baja tensión (890 kg/día), productividad de mano de obra (68,48 kg/op), productividad económica (0,79 soles/kg), lo cuales se veían limitados debido al inadecuado control y planificación del ingreso de la materia prima y la heterogénea productividad de los operarios.

Los planes de mejora estarán orientados al ingreso planificado de materia prima al proceso, uso adecuado de recursos como el tiempo, material, personal, dinero; incremento de la eficiencia en la etapa de armado de la estructura del molde, así como también el incremento de la eficiencia en la etapa de alistado del molde y el aumento de la producción de postes de concreto armado centrifugado.

A través de la ejecución de los planes de mejora, se obtuvieron mejorados indicadores de producción tales como, la producción de postes de media tensión (15 postes/día), producción de postes de baja tensión (28 postes/día), productividad de materiales de postes de media tensión (957,32 kg), productividad de materiales de postes de baja tensión (937,5 kg), productividad de mano de obra (81,8 kg/operario), productividad económica (0,98 soles/kg), como se observa se han incrementado notablemente debido a planificación y la regularidad de productividad de los operarios. En cuanto al beneficio que obtendrá la empresa al aplicar la teoría de restricciones es de soles S/. 42 360,59 soles en el primer año.

## **VIII. RECOMENDACIONES:**

1. Es importante mejorar la comunicación vertical de la empresa, ya que esto ayudaría al involucramiento del personal a su trabajo, de tal forma que sus ideas sean tomadas en cuenta en próximas decisiones gerenciales.
2. El encargado del área de producción de la empresa “Tubos y postes Chiclayo S.R.L” debe mantener un estricto control y realizar evaluaciones a todos los trabajadores para ver el mejoramiento de las actividades que realizan.
3. Es importante considerar la motivación del personal ya que es la parte fundamental de la empresa, podrían realizar futuras capacitaciones o buscar otras alternativas de capacitación, pueden considerarse cintas de video, actividades al aire libre, dinámicas de grupo, talleres, entre otros.
4. Definitivamente tenemos que seguir la regla de oro la cual es: medir para controlar y controlar para mejorar. Una empresa que no mide su desempeño ya sea en volumen, calidad, etc., es imposible que sobreviva.
5. Es importante mantener un proceso de mejora continua que nos ayude a seguir explotando las oportunidades existentes en las áreas productivas de manera que permita asegurar una posición competitiva en el mercado.

## IX. BIBLIOGRAFÍA:

- Abisambra, José and Mantilla Luis. 2008. Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) a los procesos de producción de la planta de fundición de Imusa. Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 2. p. 121-133 Medellín. Accessed: May 23, 2014.
- Aguilar Everardo and Vargas Jaime. 2008. Personas, economía y medio ambiente: las problemáticas de la pequeña empresa. Centro Regional de Investigación en Psicología, Volumen 2, Número 1, Pág. 37-43. June 01, 2014.
- Andersen, Arthur. Theory of Constraints (TOC) Management System Fundamentals. Published by Institute of Management Accountants: United States.
- Barde, Friederich. El estímulo de la productividad. Barcelona: Reverté, 1979.
- Birrell, Matías. 2004. Simplicidad Inherente: Fundamentos de la Teoría de Restricciones. Amertown Internacional S.A. Negocios empresas y economía.
- Cabarcas, Juan; Ardila Fabián and Mejía María. 2010. Mejoramiento del flujo y aumento de la capacidad de prestación de servicios de un taller de reparación y mantenimiento automotriz, a través de estrategias basadas en los principios de la teoría de restricciones. Prospect. Vol. 8, No. 2, Julio - Diciembre de 2010, págs. 45-54. Accessed: May 16, 2014.
- Caso, Alfredo. Técnicas de medición de trabajo. 2da edición. Madrid: FC Editorial, 2006.
- Chase, Richard. Administración de operaciones: producción y cadena de suministros. México, D.F: McGraw-Hill Interamericana, 2009.
- Cuatrecasas, Lluís. 2009. Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible. Bresca editorial, S.L.: Barcelona.
- Chapman, Stephen. 2006. Planificación y control de la producción. Pearson educación: México.
- Deming, Edwards. Calidad, productividad y competitividad. Madrid: Díaz de Santos, 1989.

- Duffuaa, Salih. Sistema de mantenimiento: planeación y control. México: Limusa, 2009.
- García, Roberto. Estudio del Trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo. México: McGraw-Hill Interamericana, 2005.
- Goldratt. Eliyahu. La Meta. El proceso de mejora continua. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2000.
- Gómez, Luis and Jiménez, Juan. 2009. Gestión de Proyectos con Teoría de Restricciones aplicada al área técnica de la Compañía Construcciones y Servicios S. A. Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 4.p. 195-208. Medellín. Accessed: May 23, 2014. Accessed: June 01, 2014.
- González, Monserrat. 2010. Gestión de la producción, como planificar y controlar la producción industrial. Colombia: Ideas propias.
- Hansen and Howen, Moryanne. 2007. Administración de costos: contabilidad y control. Editorial Thomson: México.
- Hiquita, Eustaquio. La productividad moderna y su programación para el incremento. Colombia: Universidad de Antioquia, 1963.
- Krajewski, Lee; Ritzman L.P. and Malhotra M.K. Administración de operaciones. Pearson Educación: México.
- Kanawaty, George. Introducción al estudio del trabajo. México: Limusa, S.A., 2006.
- Koontz, Harold. Administración: una perspectiva global y empresarial. México, D.F: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- Meyers, Fred. Estudios de tiempos y movimientos. Para una manufactura ágil. México: Pearson Educación, 2000.
- Teocéconsultors. 2007. La Aplicación a Producción (Drum – Buffer – Rope. D.B.R.) de la Teoría de las Limitaciones (Theory of Constraints TOC) y sus sinergias con los Sistemas de Mejora Continua. Consultado el 10 de junio del 2014. Disponible en: [http://www.teoce.com/rscs\\_prod/070201\\_dbr\\_smc.pdf](http://www.teoce.com/rscs_prod/070201_dbr_smc.pdf)
- Villagómez, Gabriela; Viteri Jorge and Medina Alberto. 2012. Teoría de restricciones para procesos de manufactura. Universidad Tecnológica Equinoccial, ISSN: 1390-6542, págs. 14-28. Accessed: May 16, 2014.

- Vivanco, Manuel. Muestreo estadístico: diseño y aplicaciones. Chile: Universitaria S.A, 2005.

**X. ANEXOS:**

**Anexo N° 1: Resumen de la etapa de armado del proceso de elaboración de poste de concreto armado centrifugado de media y baja tensión.**

<b>Resumen del proceso de elaboración de postes de media y baja tensión</b>			
		Tiempo de armado de postes de media tensión	Tiempo de armado de postes de baja tensión
N	Válidos	7	25
	Perdidos	18	0
Media		38,14	22,24
Error típ. de la media		3,313	1,073
Mediana		42,00	21,00
Moda		45	30
Desv. típ.		8,764	5,364
Varianza		76,810	28,773
Asimetría		-1,116	,520
Error típ. de asimetría		,794	,464
Curtosis		-,904	-1,194
Error típ. de curtosis		1,587	,902
Rango		20	15
Mínimo		25	15
Máximo		45	30
Suma		267	556

<b>Resumen de la frecuencia del tiempo de armado de postes de media tensión</b>					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	25	1	4,0	14,3	14,3
	26	1	4,0	14,3	28,6
	41	1	4,0	14,3	42,9
Válidos	42	1	4,0	14,3	57,1
	43	1	4,0	14,3	71,4
	45	2	8,0	28,6	100,0
	Total	7	28,0	100,0	
Perdidos	Sistema	18	72,0		
Total		25	100,0		

<b>Resumen de la frecuencia del tiempo de armado de postes de baja tensión</b>				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
15	1	4,0	4,0	4,0
16	3	12,0	12,0	16,0
17	1	4,0	4,0	20,0
18	2	8,0	8,0	28,0
19	2	8,0	8,0	36,0
Válidos 20	2	8,0	8,0	44,0
21	3	12,0	12,0	56,0
22	3	12,0	12,0	68,0
23	1	4,0	4,0	72,0
30	7	28,0	28,0	100,0
Total	25	100,0	100,0	

**Anexo N° 2: Resumen de la etapa de alistado del molde del proceso de elaboración de poste de concreto armado centrifugado de media y baja tensión.**

<b>Resumen del proceso de elaboración de postes de media y baja tensión</b>			
		Tiempo de alistado del molde de media tensión	Tiempo de alistado del molde de baja tensión
N	Válidos	7	25
	Perdidos	18	0
Media		26,57	18,00
Error típ. de la media		1,066	,392
Mediana		27,00	18,00
Moda		22 <sup>a</sup>	16
Desv. típ.		2,820	1,958
Varianza		7,952	3,833
Asimetría		-,573	,290
Error típ. de asimetría		,794	,464
Curtosis		-,547	-,807
Error típ. de curtosis		1,587	,902
Rango		8	7
Mínimo		22	15
Máximo		30	22
Suma		186	450

<b>Resumen de la frecuencia del tiempo de alistado del molde de postes de media tensión</b>				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
22	1	4,0	14,3	14,3
24	1	4,0	14,3	28,6
26	1	4,0	14,3	42,9
Válidos 27	1	4,0	14,3	57,1
28	1	4,0	14,3	71,4
29	1	4,0	14,3	85,7
30	1	4,0	14,3	100,0
Total	7	28,0	100,0	
Perdidos Sistema	18	72,0		
Total	25	100,0		

<b>Resumen de la frecuencia del tiempo de alistado del molde de postes de baja tensión</b>				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
22	1	4,0	14,3	14,3
24	1	4,0	14,3	28,6
26	1	4,0	14,3	42,9
Válidos 27	1	4,0	14,3	57,1
28	1	4,0	14,3	71,4
29	1	4,0	14,3	85,7
30	1	4,0	14,3	100,0
Total	7	28,0	100,0	
Perdidos Sistema	18	72,0		
Total	25	100,0		