

# **Incorporación de conceptos de la metodología Lean en la fabricación y montaje de estructuras metálicas.**



# Abstract

This graduation project consists of the application of the LEAN philosophy in the manufacturing and assembly of the steel structure projects.

According to Hernandez, JC & Vizán, this philosophy applies to staff I, defines how to improve and optimize a production system with a focus on identifying and eliminating all forms of waste. The definition of LEAN is clear to be identified as a focus for the management-production delivery of a specific project, reducing lead times, improving quality and thus ensuring expected profits in the company budget.

In order to implement in the best way the Lean philosophy, it made use of tools such as flow charts, Pareto analysis or 80-20, cause-effect diagrams and Balance Card.

The objectives of this research were to determine the causes of quality issues and delivery of steel structure projects, identify processes in manufacturing and construction of steel structure projects, analyze the tools available to control threads identify threads of greater relevance, evaluate the productivity of human resources in the main thread and propose improvements to them.

As part of the improvements templates for controlling threads, similarly a flowchart of threads both in the factory and on site, and a workshop area distribution with respect to the defined process flow.

The development of the company providing document tools and foundations for the implementation of projects by controlling the quality and time, eliminating waste.

Keywords: LEAN methodology, Flowcharts, threads.

# Resumen

El presente proyecto de graduación consiste en la aplicación de la filosofía LEAN en la fabricación y montaje de la estructura metálica en proyectos.

Según Hernández, J.C & Vizán, dicha filosofía se aplica al personal I, define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción centrándose en identificar y eliminar todo tipo de desperdicio. La definición de LEAN queda clara al identificarse como un enfoque para la gestión-entrega de la producción de un proyecto en específico, disminuyendo los tiempos de entrega, aumentando la calidad y por ende garantizando las utilidades previstas en presupuesto por la empresa.

Con el objetivo de implementar de la mejor manera la filosofía Lean, se hizo uso de herramientas tales como *Diagramas de Flujo*, *Análisis 80-20 o Pareto*, *Diagramas Causa-Efecto*, así como *Cartas de Balance*.

Los objetivos de esta investigación fueron: determinar las causas que generan problemas de calidad y entrega en proyectos de estructura metálica, identificar los procesos en la fabricación y construcción, analizar las herramientas disponibles para el control de los subprocesos, identificar los subprocesos de mayor relevancia, evaluar la productividad del recurso humano en los principales subprocesos y proponer mejoras de ellos.

Como parte de las mejoras se definieron plantillas para el control de los subprocesos, de igual forma un diagrama de flujo de subprocesos tanto en fábrica como en obra y una distribución del área de taller con respecto al flujo de procesos.

El desarrollo del documento suministró a la empresa las herramientas y fundamentos para la ejecución de proyectos controlando la calidad y los tiempos, eliminando desperdicios.

Palabras claves: Filosofía LEAN, Diagramas de Flujo, Subprocesos.

**Incorporación de conceptos de la metodología Lean en la fabricación y montaje de estructuras metálicas.**

# **Incorporación de conceptos de la metodología Lean en la fabricación y montaje de estructuras metálicas.**

DANIELA CORDERO ROSALES

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Octubre del 2015

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| PREFACIO.....               | 1  |
| RESUMEN EJECUTIVO.....      | 2  |
| INTRODUCCIÓN.....           | 5  |
| MARCO TEÓRICO.....          | 6  |
| METODOLOGÍA.....            | 12 |
| RESULTADOS.....             | 13 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 44 |
| CONCLUSIONES.....           | 53 |
| RECOMENDACIONES.....        | 55 |
| APÉNDICES.....              | 56 |
| ANEXOS.....                 | 73 |
| REFERENCIAS.....            | 75 |

# Prefacio

La empresa Servicios Estructuras S.A. se caracteriza por la fabricación y montaje de estructura metálica desde hace más de 30 años en el área de la construcción. La empresa cuenta con un área de planta-taller donde se produce el material metálico necesario para los proyectos adjudicados a nivel nacional, la empresa ha desarrollado un crecimiento importante en los últimos 10 años, aumentando la cantidad de proyectos manejados, dejando al descubierto la necesidad de implementar metodologías como alternativas para el mejoramiento del funcionamiento de la empresa.

El manejo del material utilizado para producir las estructuras, las herramientas disponibles y la producción en general de estas, tienen un papel primordial para el crecimiento presente y futuro de una empresa. Por medio de los avances teóricos y prácticos en el tema de planificación y ejecución de proyectos se dejan en evidencia las causas de sobrecostos en proyectos de construcción.

En nuestro país aún se utilizan metodologías ambiguas para la administración de proyectos, colocando a las empresas en posiciones difíciles para sobrevivir en el mercado, el cual cada día exigen mayor calidad en el material producido, menor tiempo de producción y menor costo, esto exige a los empresarios a buscar nuevas alternativas para que sus empresas figuren entre las más competitivas en el mercado.

De acá radica la importancia de identificar en dicha empresa los puntos clave que afectan la calidad y entrega de la estructura metálica, para así lograr proponer mediante la filosofía LEAN la mejora de la fabricación y ejecución de forma efectiva y productiva.

Servicios Estructuras S.A. ha tratado de implementar herramientas y metodologías para la erradicación del problema, como plantillas y otros, sin embargo las plantillas utilizadas no son estandarizadas y obligatorias dentro de la

administración por lo que dificulta lo que podría ser su eficacia.

El objetivo general de este proyecto es aplicar la metodología LEAN en proyectos de estructura metálica, por medio de la determinación de las causas que generan los problemas de calidad y entregas en proyecto, identificando los procesos en la fabricación y construcción de estructura, analizando las herramientas disponibles en la empresa para el control de los subprocesos e identificando los de mayor relevancia en la fabricación y montaje, proponiendo mejoras en los principales subprocesos.

Agradecida por el apoyo incondicional y paciencia de la Profesora Ing. Sonia Vargas, el cobijo, tiempo y enseñanza de la profesora guía del proyecto la Ing. Ana Grettel Leandro, al personal de la empresa donde realicé el proyecto Servicios Estructurales S.A., a mi familia que me acompañaron en este largo proceso, principalmente mis padres que les dedico cada logro de mi vida, mi novio, hermana, cuñado y a Dios que son mi inspiración.

# Resumen ejecutivo

Las empresas ligadas a la construcción en la actualidad sufren por la sobre población de empresas dedicadas a la misma actividad, por lo que se deben desarrollar metodologías de éxito que hagan sobresalir la empresa por encima de las demás posicionadas en el mercado, por la gran cantidad que existen la situación no es fácil, por lo que la calidad y el menor tiempo de entrega de los proyectos son puntos en los cuales enfocarse para ganar espacio dentro de las preferidas.

Tomando en cuenta las condiciones anteriormente expuestas con el objetivo de aplicar la metodología LEAN en la fabricación y montaje de la estructura metálica en proyectos se realiza una investigación exhausta en la Empresa Servicio Estructurales S.A., por lo que se establecen los siguientes objetivos:

- Determinar las causas que generan los problemas de calidad y entregas en proyectos de la estructura metálica.
- Identificar los procesos en la fabricación y construcción de estructura metálica.
- Analizar las herramientas disponibles en la empresa para el control de los subprocesos.
- Identificar los subprocesos de mayor relevancia en la fabricación y montaje en obra de la estructura metálica.
- Evaluar la productividad del recurso humano en los principales subprocesos identificados en la fabricación y montaje en obra de la estructura metálica.
- Proponer mejoras en los subprocesos de mayor relevancia en la fabricación y montaje en obra de la estructura metálica.

Para cumplir con los objetivos propuestos fue necesario realizar estudios de la metodología LEAN y las técnicas aplicables a ella, como diagramas de flujo para identificar de los procesos y subprocesos en la empresa, análisis 80-20 o Pareto para lograr identificar los

subprocesos de mayor relevancia por medio de los costos, diagramas causa-efecto con el objetivo de identificar la problemática actual que afectan a los subprocesos identificados en la empresa, así como cartas de balance para revisar la productividad del recurso humano en una actividad específica.

Con la aplicación de la filosofía LEAN en el siguiente proyecto se logró diseñar herramientas como plantillas, diagramas para la utilización de una forma sencilla y eficaz en la empresa.

La investigación se realizó enfocada en dos grandes procesos que se dan en un proyecto de estructura metálica:

- Fabricación en taller.
- Montaje en obra.

Estos procesos se dividen en subprocesos.

## Fabricación en taller

- Realización de plantillas.
- Preparación de material.
- Marcación.
- Corte y perforación.
- Armado.
- Preparación de piezas y pintura.
- Identificación.
- Carga y transporte.

## Montaje en obra

- Realización de diagramas de montaje.
- Descarga, recepción y almacenamiento.
- Montaje.
- Apuntalado.
- Re soldado o atornillado.
- Preparación de estructura y pintura.

Con la ayuda del análisis 80-20 se desarrollan los subprocesos identificados como relevantes por medio de los costos según experiencias en proyectos anteriores realizados por la empresa:

#### Fabricación en taller

- Corte y perforación.
- Armandos.

#### Montaje en obra

- Montaje.

Al encontrar las causas que generan atrasos y disminución de la calidad de los subprocesos de mayor relevancia por medio del diagrama causa-efecto, se proponen las mejoras de estos subprocesos.

Dentro de las herramientas propuestas se encuentran:

- Diagrama de flujo de subproceso en taller y obra.
- Distribución en planta de taller según flujo de subprocesos propuesto.
- Cartas de balance para la actividad específica Columna tipo I.
- Plantillas para el manejo de revisiones de la estructura metálica, pedidos de material y consumibles en taller y obra, mantenimiento y control de maquinaria, control de calidad y costos de consumibles, pruebas diagnósticas para personal de nuevo ingreso.

Dentro de las principales conclusiones presentes en el documento:

- La importancia de la interacción por medio de entrevistas y observación al personal en distintos niveles de la organización es básica para la detección de los problemas de calidad y entrega de los proyectos en la empresa Servicios Estructurales S.A.
- Las causas identificadas que generan problemas en la calidad y entrega de proyectos son la no priorización de los procesos por actividad, flujos de procesos no estandarizados, infrecuente monitoreo de procesos, baja calidad de los materiales, falta de mantenimiento de maquinaria y herramienta, material y herramientas escasas, mala planificación de los tiempos para los procesos, personal no calificado, espacios físicos de trabajo mal distribuidos.
- Al no tener un proceso adecuado que oriente las actividades de calidad, ni fije los requerimientos y los estándares que se deben satisfacer, no se está cumpliendo con la entrega de un

producto satisfactorio y su fabricación y montaje representan altos costos para la empresa.

- La planta de distribución de la empresa Servicios Estructurales S.A. no satisface el flujo continuo necesario para todo proceso de producción lo cual concluye en pérdidas económicas.
- A fin de conseguir los objetivos de producción, la distribución en planta de maquinaria e instalaciones debe realizarse en base a los criterios de seguridad, calidad, respeto al medio ambiente y versatilidad adecuados, lo cual ayudará a minimizar los tiempos de los subprocesos de trazado, mecanizado y conformado.
- Uno de los problemas de la empresa Servicios Estructurales S.A. es que al no manejar herramientas para el control de subprocesos provoca descontrol en la ejecución de proyectos de estructura metálica incumpliendo las bases del flujo continuo de LEAN.
- La plantilla actual de "Requisición por tarea" utilizada por la empresa para la salida y entrada de material no se adecua a las necesidades de información de los encargados de proyectos, ya que carece de información como materiales pendientes en la entrega, lo cual produce pérdidas de control del material pendiente, ya que no queda documentado.
- La empresa mantiene dos grupos de procesos específicos en la fabricación y montaje de estructura metálica, la fabricación en taller y el montaje en obra, de los cuales se identifica por medio del análisis 80-20 los subprocesos de mayor relevancia corte, perforación y armado de la estructura en fábrica y montaje en obra.
- El control de la productividad de los recursos en los proyectos de estructura metálica por medio de cartas de balance ayudan a identificar desperdicios en mano de obra en los subprocesos de mayor relevancia, como lo es trabajos poco constantes, tiempos de espera y ausencias de la actividad por lapsos de tiempos sin justificación.

- La distribución en planta propuesta para el proceso garantiza el recorrido mínimo de los materiales y la eficacia operativa de las diferentes fases y esto contribuye también a que las interferencias en el proceso por tiempos ociosos de los subprocesos de trazado, mecanizado y conformado se eviten y reduzcan.
- Las mejoras propuestas debe enfocarse al proceso ya sea en fabricación en taller o el montaje en obra y debe tener en cuenta sus fases en función de los caminos críticos, cuellos de botella, para mejorar el flujo en general y disminuir el tiempo del ciclo.
- Las plantillas propuestas garantizan un flujo continuo de los subprocesos, así como la responsabilidad de los encargados teniendo control de los proyectos y futuros problemas que se presenten para su eventual medida.

# Introducción

El siguiente documento se basa en la aplicación de la metodología LEAN en proyectos de estructura metálica, como parte del trabajo se realiza una investigación exhausta en taller y obra de la Empresa Servicios Estructurales S.A. con el propósito de identificar las problemáticas presentes en la ejecución de proyectos, las cuales afectan la empresa, como consecuencias se han observado aumentos en los costos, disminución de la calidad y atrasos en entregas al cliente.

LEAN busca disminuir los desperdicios en todo el sentido de la palabra, desde desperdicios en la productividad del personal, calidad, costos y tiempos de cada proyecto en particular.

La filosofía LEAN conlleva una serie de metodologías aplicables a ella para la organización de las empresas en distintos campos, desarrollada en años atrás por la empresa Toyota Motors en Japón, dentro de estas se encuentran los Diagramas de Flujo, técnica utilizada frecuentemente para la revisión del flujo de la producción y los Diagramas Causa-Efecto para identificar los efectos de las problemáticas con sus causas específica.

El presente trabajo se divide en dos grupos la fabricación en taller de la estructura metálica y el montaje en obra, dejando entrevisto las causas que conlleva problemas de calidad y entregas de proyectos, realizando una serie de revisiones de las metodologías de control utilizadas por la empresa, identificando los subprocesos de cada grupo y realizando la escogencia por medio el Análisis 80-20 o también llamado Pareto, el cual tomando los costos en proyectos antiguos en los que participó la empresa se logra identificar los de mayor relevancia, proponiendo mejoras para estos por medio de LEAN, diseñando plantillas de control de metodologías, diagramas de flujo en fabrica y obra, reacomodo en planta de fabricación.

Objetivo general: Aplicar la metodología LEAN en proyectos de estructura metálica.

Objetivos específicos:

1. Determinar las causas que generan los problemas de calidad y entregas en proyecto de la estructura metálica.
2. Identificar los procesos en la fabricación y construcción de estructura metálica.
3. Analizar las herramientas disponibles en la empresa para el control de los subprocesos.
4. Identificar los subprocesos de mayor relevancia en la fabricación y montaje en obra de la estructura metálica.
5. Evaluar la productividad del recurso humano en los principales subprocesos identificados en la fabricación y montaje en obra de la estructura metálica.
6. Proponer mejoras en los subprocesos de mayor relevancia en la fabricación y montaje en obra de la estructura metálica.

Limitaciones:

1. La aplicación de los principios de la filosofía LEAN, la cual plantea una serie de técnicas que a nivel de esta investigación se enfocará en las áreas de calidad y tiempo de ejecución de la estructura metálica.
2. Considerando las limitaciones de tiempo no se incluirá la implementación de las propuestas de mejora realizadas.
3. En la realización de las cartas de balance se medirán tiempos para una sola actividad (Columna tipo I) por limitación de tiempo del proyecto de graduación.

# Marco teórico

## Principios de la ejecución de proyectos

La construcción se encuentra estrechamente ligada al desarrollo de la sociedad en el mundo, a pesar de esta relación, a nivel latinoamericano la construcción es de los sectores con menor grado de desarrollo, evidenciando deficiencias y falta de efectividad, todo esto a pesar de su importancia.

Durante muchos años la producción industrial se ha dedicado a buscar herramientas y estrategias que logren modernizar la ejecución de proyectos, dejando entrevisto características similares con la disciplina de la construcción, por ejemplo:<sup>1</sup>

- Alta rotación del personal, limitando la curva de aprendizaje.
- Efecto del clima en las actividades.
- Trabajo bajo presión la mayor parte del tiempo.
- Escasa capacitación del personal.
- Planificación escasa o deficiente en las actividades.
- Fragmentación en tiempos de los proyectos.
- Realización de actividades basadas en la experiencia del personal.
- Falta de investigación y desarrollo de metodologías que influyan positivamente en la administración y los procesos de las empresas.

En la historia, hasta los años ochenta, la ejecución de obras dependía de la idiosincrasia del constructor y la naturaleza de la obra, apegándose a la finalidad de la ganancia (costos), sin tomar en cuenta las causas del por qué no se cumple con los proyectos realizados,

que por ende traen pérdidas o disminución de las ganancias proyectadas por las empresas.

A partir de este momento en donde la planificación de proyectos se hace visible, debido a varios factores como un aumento en la complejidad de los proyectos, la exigencia de plazos aún más cortos, la necesidad de aprovechar las oportunidades económicas, el dinamismo de la sociedad.

Por esto en la actualidad se debiera enfatizar en la adecuada planificación, coordinación, seguimiento, control y mejoramiento continuo de los proyectos, para así lograr los objetivos planteados. Lo vivido en nuestro país así como internacionalmente nos da la experiencia de observar que la anticipación y sistematicidad nos permiten alcanzar el éxito en los proyectos.<sup>2</sup>

## Filosofía Lean Manufacturing

A principios del siglo XX se promueve la implementación de los conceptos de fabricación en serie por parte F.W. Taylor y Henry Ford, por medio de la primera cadena de fabricación de automóviles buscando acciones de nuevas formas de organización.

Más adelante en una busca intensiva de nuevas alternativas prácticas para aumentar el desempeño nace Lean manufacturing por parte de la industria Toyota.

Por medio de una publicación "La máquina que cambio al mundo", en la década de los noventas cuando por primera vez se da a conocer con gran auge en occidente la filosofía Lean manufacturing a pesar de sus antecedentes nombrados, exponiendo un nuevo sistema de

---

<sup>1</sup> Botero, L. F. B., & Villa, M. E. Á., Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda, 2012.

---

<sup>2</sup> VEAS, L., & Pradena, M. El Administrador Integral de Proyectos en la Industria de la Construcción, 2008.

producción capaz de combinar eficiencia, flexibilidad y calidad para ser utilizado en cualquier parte del mundo.

Lean Manufacturing se basa en el personal, define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción centrándose en identificar y eliminar todo tipo de desperdicio.<sup>3</sup>

## Principios Lean

Definidos por Womack y Jones como los principios básicos de Lean:<sup>4</sup>

- *Valor*: Se debe tomar en cuenta los valores desde el punto de vista del cliente, implicando saber qué es lo que el cliente desea, para poder lograr las bases para el diseño del producto y la fabricación del mismo de forma más efectiva.
- *Cadena de valor o flujo de valor*: se entiende por cadena de valor las actividades en su totalidad que se ven involucradas para la transformación de material e información en un producto determinado, realizar los pasos que dan valor al producto final en una secuencia estricta, eliminando así el desperdicio.
- *Flujo*: en este principio se deja que las operaciones creadoras de valor fluyan.
- *Sistema Pull*: este sistema se esfuerza por eliminar el exceso de inventario y la sobreproducción, tomando en cuenta la demanda real del cliente.
- *Perfección*: Este es donde el proceso proporciona puro valor, como el cliente lo pide, sin generar ningún desperdicio.

## Características Lean

- Reduce la cadena de desperdicios dramáticamente.
- Reduce el inventario y el espacio en el piso de producción.
- Crea sistemas de producción más robustos.

- Crea sistemas de entrega de materiales apropiados.
- Mejora las distribuciones de planta para aumentar la flexibilidad.<sup>4</sup>

## Desperdicio

Lean manufacturing propone un cambio que consiste en medir y analizar la eficiencia y productividad de los procesos en términos de valor añadido y desperdicio.

Como parte de la forma de eliminación del desperdicio y todo aquello que no aporte valor añadido, se debe:

- Reconoces el desperdicio y el valor añadido dentro del proceso.
- Eliminar el desperdicio, actuando por medio de la técnica LEAN que sea más adecuada.
- Estandarizar los trabajos.

Tipos de desperdicios:<sup>3</sup>

- **Desperdicio por exceso de almacenamiento:**

Las características de este tipo de desperdicio son, excesivo espacio para almacenar, rotación baja del material, costo del almacenamiento elevado, excesivos medios de manipulación.

Las causas posibles, procesos con poca capacidad, cuellos de botella no identificados o fuera de control, tiempos de cambios en herramientas, maquinaria o preparación de trabajos excesivamente largos, sobreproducción, reprocesos por defectos de producción del producto, problemas e ineficiencias ocultas.

- **Desperdicio por sobreproducción:**

Las características de este tipo de desperdicio son, gran cantidad de material en stock, ausencia de planes para eliminar sistemáticamente problemas de calidad, tamaño grande de lotes de fabricación, equipamiento obsoleto, necesidad de espacio para almacenaje.

Las causas posibles, procesos no capaces y poco fiables, reducida aplicación de automatización, tiempos de cambio y de preparación elevados, respuesta a las previsiones no a las demandas, falta de comunicación.

- **Desperdicio por tiempos de espera:**

---

<sup>3</sup>Hernández, J.C. & Vizán, A. Lean Manufacturing, conceptos, técnicas e implantación, 2013.

<sup>4</sup> Pons, J.F. Introducción a Lean Construction, 2014.

Las características de este tipo de desperdicio son, el trabajador toma tiempo de espera mientras la máquina finaliza el proceso de igual manera se presenta la espera de la máquina a que el trabajador finalice con tareas pendientes, exceso de material en espera dentro del proceso, pausas no planificadas en el proceso, tiempo para tareas indirectas, espera entre personal.

Las causas posibles, métodos de trabajo no estandarizados, desequilibrio de capacidad, falta de maquinaria y equipo necesario, retraso de procesos por olvido de materiales o piezas, producción en grandes cantidades, deficiente coordinación entre personal, tiempos elevados de preparación de máquinas y herramienta.

- **Desperdicio por transporte o movimientos innecesarios:**

Las características de este tipo de desperdicio son, exceso de operaciones de movimiento y manipulación de materiales, maquinaria difícil de manipular.

Las causas posibles, tamaños de lotes no manejables por una sola maquinaria, procesos deficientes y poco flexibles, programaciones de producción no uniformes, tiempos de preparación elevados, excesiva cantidad de material o almacenes intermedios, baja eficiencia de personal y maquinaria, reprocesos frecuentes.

- **Desperdicio por defectos, rechazos y reprocesos:**

Las características de este tipo de desperdicio son, pérdida en tiempo, materiales y dinero, planificación y calidad cuestionable, flujo de procesos complejos, personal adicional para revisión de los reprocesos, maquinaria poco confiable, baja motivación del personal.

Las causas posibles, movimientos innecesarios, errores del personal, inadecuada formación o experiencia del personal, técnicas o herramientas inapropiadas, proceso productivo deficiente o mal diseñado.

## Lean Construction

En el año 1992 Koskela impulsa su libro llamado "Aplicación de la nueva filosofía de la producción a la construcción", promoviendo el análisis de los principios y herramientas de Lean aplicándolas a la construcción, persiguiendo la perfección en todo proceso de construcción.

Según lo define el Instituto Lean Construction "Es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto, una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras. La gestión de la producción Lean ha provocado una revolución en el diseño, suministro y montaje del sector industrial. Aplicado a la gestión integral de proyectos, desde su diseño hasta su entrega, Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. Lean Construction se extiende desde los objetivos de un sistema de producción ajustada - maximizar el valor y minimizar los desperdicios - hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto.

## Técnicas reconocidas por Lean

Lean, se encuentra basada en diversas técnicas, fundamentos, principios, es una filosofía abierta a cambios, con distintas maneras de aplicación, no es estática, es completamente dinámica.

Estas técnicas podrán ser implementadas de forma conjunta o individual según sea necesario en el estudio ya que entre ellas se encuentran diferencias importantes, en la teoría se encuentran distintas formas de dividir estas técnicas, diferentes debates con respecto al tema, según Juan Carlos Hernández en su libro Lean manufacturing, las divide en tres grupos para su mejor comprensión.

Primer grupo: Consta de técnicas para la mejora de costo-productividad, estas pueden ser aplicadas en cualquier sector, cuentan con un enfoque totalmente práctico.

- Las 5 S.
- SMED.
- Estandarización.
- TPM.
- Control visual.

Segundo grupo: En este grupo se encuentran técnicas para la mejora de la calidad, exigen mayor compromiso y cambio cultural en el personal de todos los niveles de la organización.

- Jidoka.
- Técnicas de calidad.

- Sistema de participación del personal (SPP).

Tercer grupo: Contiene técnicas específicas para el mejoramiento de los plazos, estas cambian la forma de planificar, programar y controlar los medios de producción, estas son más avanzadas por lo que exige recursos especializados.

- Heijunka
- Kanban.

## Técnicas propias de Lean

### Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo son representaciones gráficas de algún proceso en cualquier actividad.

Consiste en una herramienta para entender los procesos o diferentes fases de la actividad que se realizan, facilitando la observación de las deficiencias y excesos en las fases, se identifican con mayor facilidad las formas de mejora a proponer.

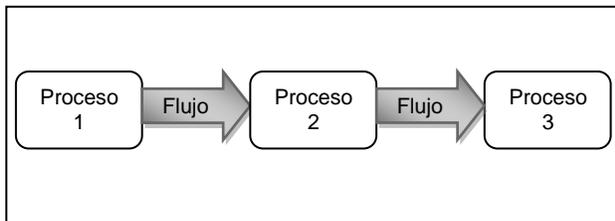


Figura 1. Ejemplo planilla de diagrama de flujo.

### Análisis 80-20 o Pareto

Por medio de la ley 80-20 o “los pocos vitales y muchos triviales”, Pareto explicó su análisis dividiendo las causas que explican un problema en la organización, siendo capaz de cuantificar el efecto ejemplo el costo, observó que sólo con unos pocos factores se explica la mayor parte del efecto, permitiendo enfocarse en las causas

principales. Esto quiere decir que en un 20% de las causas se concentra el 80% del efecto.<sup>5</sup>

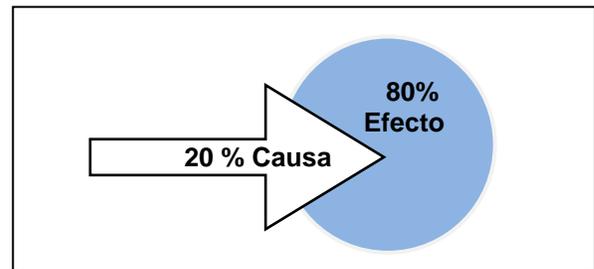


Figura 2. Representación análisis 80-20.

### Diagrama causa-efecto

Este diagrama también llamado diagrama espina de pescado se puede utilizar como conjunto del análisis 80-20, ya que al identificar las características prioritarias que intervienen en el proceso se prosigue a buscar las causas y efectos provocados por la falla de estas características, este diagrama permite observar de una forma ordenada la información recolectada para su construcción.

Las llamadas espinas de pescado representan las causas que afectan el mal, por lo que estas serán escogidas por las personas que participan en el análisis divididas respecto a la categoría que intervenga, de igual forma las causas pueden verse identificadas por causas secundarias que se representaran con una línea diagonal sobre la causa principal.<sup>4</sup>

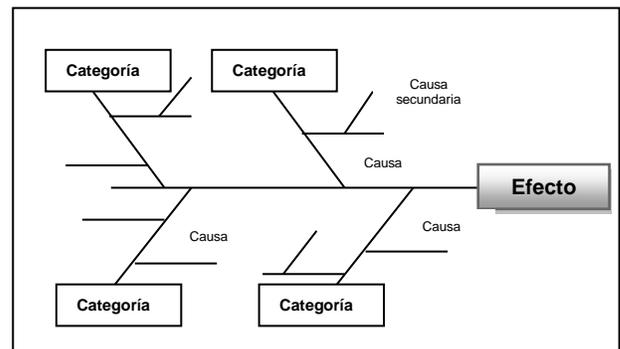


Figura 3. Diagrama causa-efecto.

<sup>5</sup> Acuña, J. Control de Calidad, un enfoque integral y estadístico, 2002.

## Estudio de métodos de trabajo

Esta técnica se ha utilizado para el análisis de operaciones, con el objetivo de mejorar la productividad de la organización.

Dentro de los objetivos principales de esta técnica se encuentran:

- Aumentar la eficiencia de la metodología de trabajo para aumentar la productividad.
- Lograr la máxima utilización de la maquinaria y equipo, que ha requerido de alta inversión de capital.
- Mejorar la utilización de los materiales, disminuyendo las pérdidas, mejorando la manipulación de los mismos.

El estudio de métodos es un registro sistemático y análisis crítico de los factores y recursos que se involucran en la forma de ejecutar un proyecto.<sup>6</sup>

## Carta de balance

El método de estudio llamado carta de balance consiste en el análisis de operaciones con el fin de estudiar la eficiencia de la combinación hombre-máquina.

La carta de balance permite describir formalmente el proceso de una operación, de forma detallada, permitiendo ser críticos con el método usado, como por ejemplo la cantidad de personal adecuada para cada proceso e igual permite el análisis de rendimientos.

Esta técnica se representa con un gráfico de barras verticales, donde se relaciona el tiempo con los recursos (personal, maquinaria, etc.), en este gráfico se tomará en cuenta los lapsos improductivos y de trabajo inefectivos, el objetivo es analizar la eficiencia del método del trabajo más que la eficiencia del personal, pretendiendo una forma de trabajo más inteligente, por lo que no quiere decir que el personal deba trabajar más fuerte.

Como resultado de la realización del gráfico se obtienen los niveles de actividad de cada recurso (personal), el coeficiente de participación y el nivel de actividad relativo.

---

<sup>6</sup> Serpell, A. Administración de operaciones de construcción, 2002.

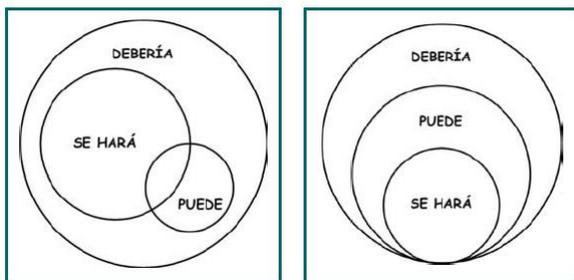
| <b>CUADRO 1. PARÁMETROS COEFICIENTE DE PARTICIPACIÓN, NIVEL DE ACTIVIDAD REAL Y NIVEL DE ACTIVIDAD REAL DE LOS RECURSOS</b> |  |
|---|--|
| <i>Coeficiente de participación=</i>  | $\frac{\text{Tiempo que el recurso está presente}}{\text{Tiempo total de la actividad}}$             |
| <i>Nivel de actividad real=</i>   | $\frac{\text{Tiempo que el recurso trabaja} \times 100}{\text{Tiempo que el recurso está presente}}$ |
| <i>Nivel de actividad relativo=</i>   | $\frac{\text{Tiempo que el recurso trabaja} \times 100}{\text{Tiempo total de la actividad}}$        |

Se debe enfocar el análisis por medio de esta técnica al estudio de una reducción de los tiempos improductivos, aumentando los niveles de actividad real y el rendimiento.<sup>5</sup>

## El último planificador

La planificación de los procesos no considera todas las variables específicas de un proyecto, ya que se planea basándose en supuestos con un alto grado de incertidumbre, como por ejemplo no se toma en cuenta la disponibilidad de material, mano de obra, los problemas administrativos, la indefinición de diseño o cambios.

Planificar consiste en lo que se debería realizar para finalizar un proyecto y se tendrá que tomar como decisión lo que se hará en determinado tiempo, aun así se tendrá que saber lo que se puede hacer, por lo que el proceso de planificación debería centrarse en el puede.



**Figura 4.** Forma de planificación usual y forma de planificación por Lean respectivamente.<sup>7</sup>

Los pasos para aplicar el sistema son:

- Revisar el plan general de obras (plan maestro-Workflow): este plan define las actividades que deberían hacerse, contempla todas las actividades del proyecto, fijando hitos exigidos para el cumplimiento de los plazos, se debe identificar los responsables de cada ítem del programa, también se identifican las relaciones entre personal de distintas actividades y su interacción en tiempo.
- Elaboración de la planificación intermedia (Look Ahead): este programa define lo que se puede hacer, corresponde al segundo tipo de planificación en la jerarquía, abarca intervalos de 5 a 6 semanas, las actividades se dividen con más detalle entreviendo sub actividades importantes para la ejecución, conocidos como restricciones.
- Elaboración de la planificación semanal (Last Planner): este programa define lo que se hará, durante la semana próxima en función de los objetivos cumplidos la semana que finaliza.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Rodríguez, A. Alarcón, L. & Pellicer, E. La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador, 2011.

# Metodología

Mediante entrevistas a los maestros de obra e ingenieros tanto en planta de fabricación como en obra y observación de las dinámicas de trabajo en planta y proyectos, se identificaron las causas que generan los problemas de calidad y entregas en proyecto de la estructura metálica.

Realizando el esquema de planta para observar el flujo de producción, se identificaron los procesos en la fabricación y montaje en obra de estructura metálica.

Recopilando las herramientas como hojas de Excel, plantillas u otras existentes en la empresa, se realizó el análisis de estos para el control de subprocesos en la empresa.

Por medio de la revisión de documentos de la empresa, inspección en planta e incorporación del sistema de análisis 80-20 se identificaron los subprocesos de mayor relevancia en la fabricación y montaje de estructuras metálicas.

Aplicando la observación en los procesos de fabricación y montaje en obra se realizan las cartas de balance de medición de productividad de los recursos en los subprocesos de mayor relevancia.

Por medio de la filosofía LEAN se propusieron las mejoras en los principales procesos identificados en la fabricación y montaje de la estructura metálica.

# Resultados

## Problemática de calidad y entrega

Como resultado de las entrevistas se logró identificar las causas de los problemas de calidad (defectos en las estructuras) y tiempos de entrega (según cronogramas de proyecto)

presentes dentro de la organización, las cuales concluyen en deficiencias en la estructura metálica en proyectos.

| <b>CUADRO 2. CAUSAS QUE GENERAN PROBLEMÁTICA DE CALIDAD Y ENTREGA EN PROYECTOS DE LA ESTRUCTURA METÁLICA</b> |
|--|
|--|

|        |
|--------|
| Causas |
|--------|

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• No priorización de los procesos por actividad.</li></ul>         |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Flujos de procesos no estandarizados.</li></ul>                  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Infrecuente monitoreo de procesos.</li></ul>                     |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Baja calidad de los materiales.</li></ul>                        |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Falta de mantenimiento de maquinaria y herramienta.</li></ul>    |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• No mantenimiento adecuado de maquinaria y herramienta.</li></ul> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Mala planificación de los tiempos para cada proceso.</li></ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Personal no calificado.</li></ul>                                |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Espacios físicos de trabajo mal distribuidos.</li></ul>          |

## Flujo actual de procesos

En la empresa Servicios Estructurales S.A. se dividen las actividades en dos grandes grupos de procesos, fabricación en taller y montaje en obra, mediante la observación en taller y obra se presenta a continuación en la figura 5 el diagrama de flujo de los procesos tal como se dan en la actualidad, la figura 6 ilustra la distribución en planta de taller, en ella se encuentran

enumerados los subprocessos, la ubicación de los recursos en general y las líneas de flujo existente.

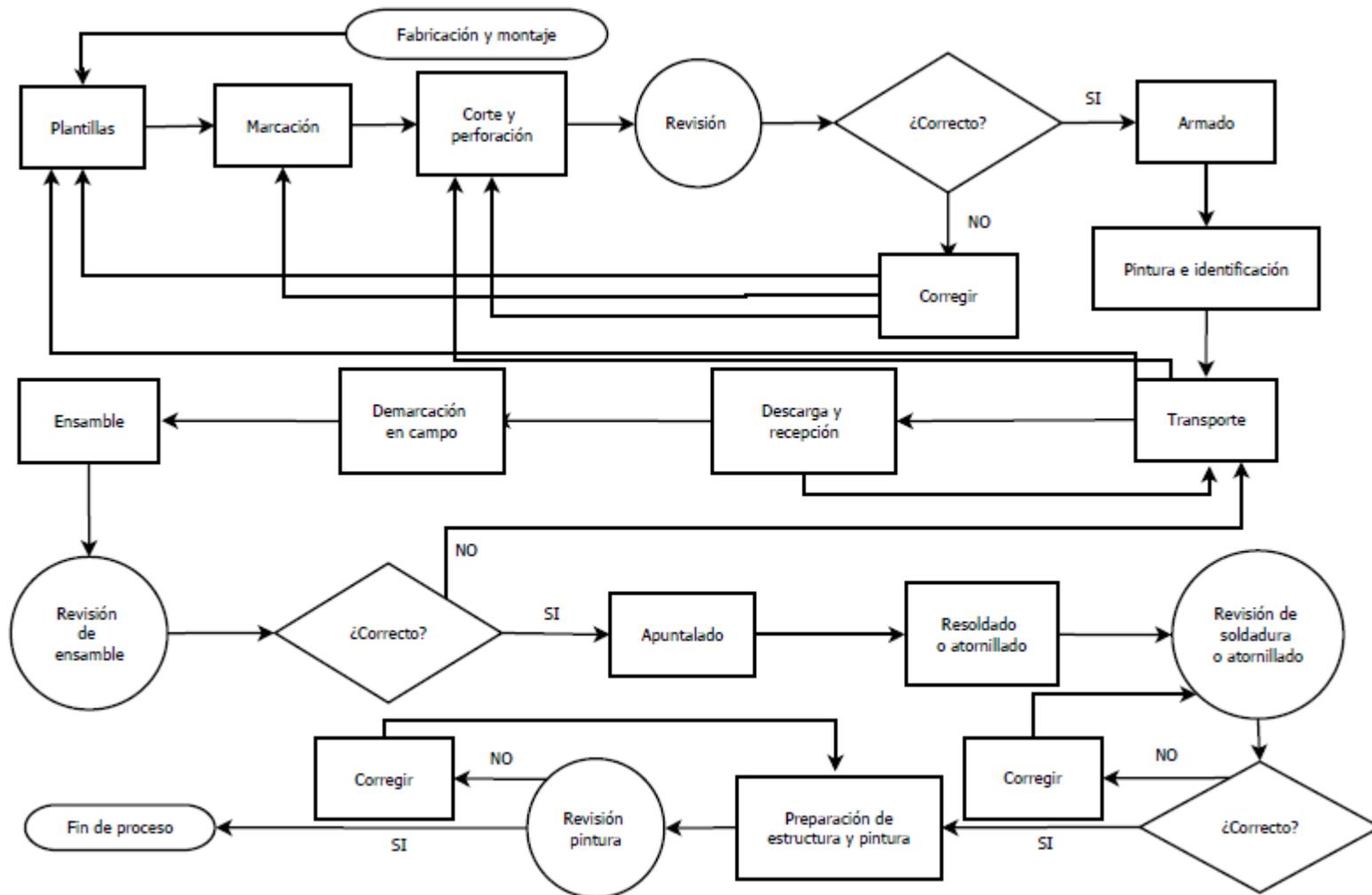


Figura 5. Diagrama de flujo proceso actual de fabricación y montaje de la estructura metálica.

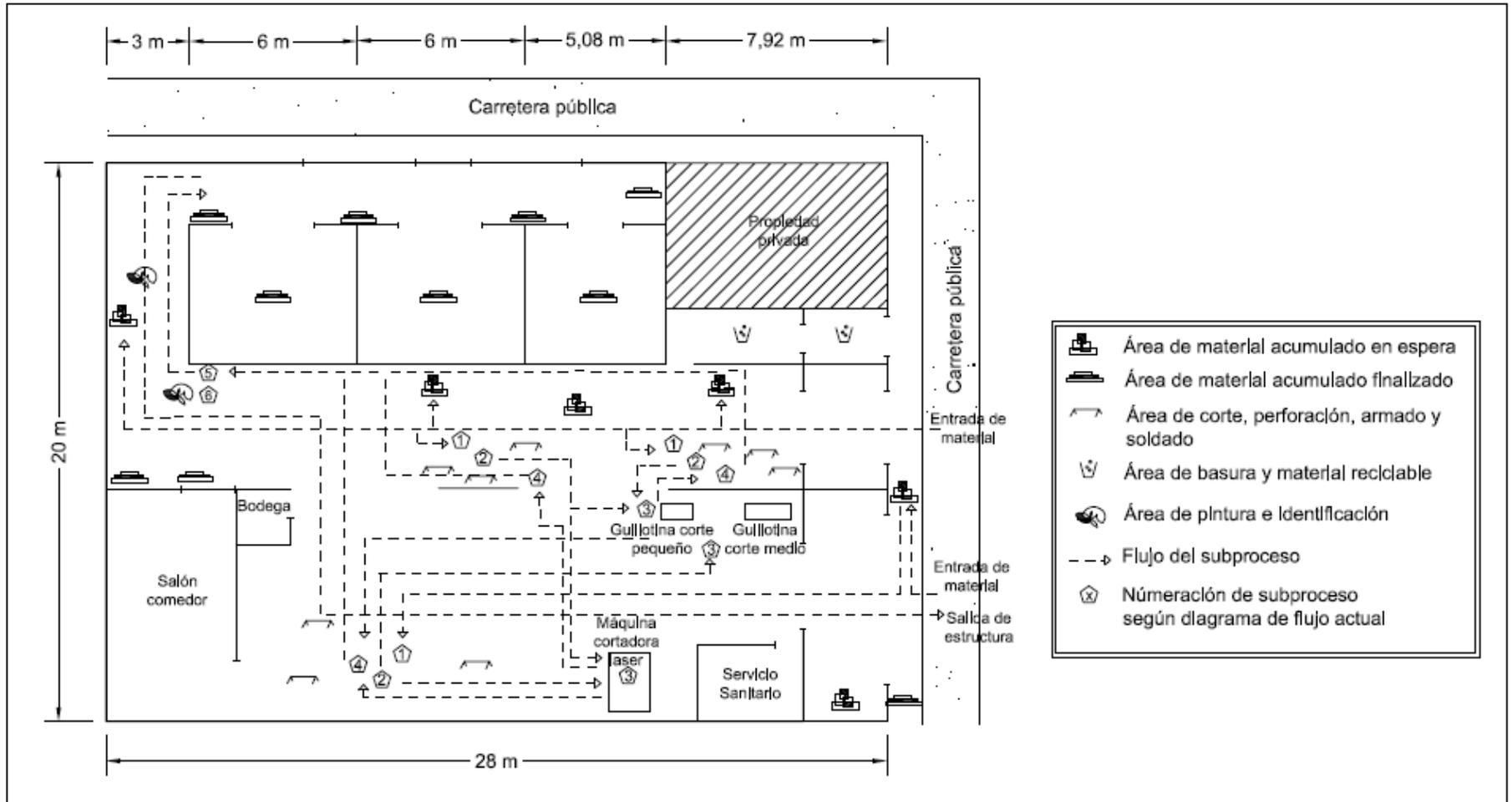


Figura 6. Planta de distribución y flujo de subprocesos del taller empresa Servicios Estructurales S.A.

# Descripción de subprocesos

Por medio de observación y entrevistas a personal directamente relacionado con las actividades de la empresa, a continuación en el cuadro 2 se

presentan los subprocesos relacionados a los procesos de fabricación y montaje de la estructura metálica en la empresa Servicios Estructurales S.A.

| <b>CUADRO 2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUBPROCESOS EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LA ESTRUCTURA METÁLICA</b> |                                      |   |
|--|--------------------------------------|---|
| Proceso  | Subproceso                           | Descripción del proceso   |
| Fabricación en taller  | Realización de plantillas            | Se realizan con base en los planos de taller, como una herramienta de apoyo en el proceso de trazado en campo, siendo revisadas antes de la salida del taller.  |
|  | Preparación del material             | El material, se somete a revisión, eliminando suciedad, abolladuras o relieves por defecto.   |
|  | Marcación                            | Es el subproceso mediante el cual el material, previo al corte, se prepara y se marca, basándose en los planos de taller.   |
|  | Cortes y perforaciones               | Subproceso en el cual los materiales se convierten en piezas definitivas.   |
|  | Armado                               | Es el ensamblaje de las piezas por medio de uniones, formando la estructura final, según planos de taller.  |
|  | Preparación de piezas y pintura      | Limpieza de escoria y suciedad producida en el proceso de corte y armado, para colocar la base de pintura anticorrosiva (cromato).  |
|  | Identificación                       | Las piezas armadas se rotulan por medio de códigos, para el manejo adecuado según numeración de planos de taller.   |
|  | Carga y Transporte                   | Una vez preparado y listo el material para ser enviado, se acomoda en el transporte adecuado según dimensiones y pesos.   |
| Montaje en obra  | Realización de diagramas de montaje  | El montaje se explica por medio de diagramas donde se explica los pasos a seguir e incluye la secuencia la herramienta y el equipo a utilizar, así como el personal que se asignará a cada actividad.   |
|  | Descarga, recepción y almacenamiento | Consiste en la revisión del material entrante a proyecto por medio de una lista de entrega, indica el procedimiento de descarga del material con el equipo adecuado. El material se almacenará temporalmente en un espacio asignado previamente con la marcación visible y previendo un orden de uso. |
|  | Montaje                              | Mediante este subproceso, se nivela, rectifica los ejes, se arma la estructura por medio del ensamble de las distintas piezas, dando forma según planos de taller y demarcación en campo, en este subproceso no se unen en definitivo las piezas con soldadura o tornillos.                           |
|  | Apuntalado                           | Consiste en la primera etapa de la colocación de soldadura o tornillos en la cual los elementos no son fijados definitivamente, sin antes ser revisada la estructura como efecto de los primeros puntos (de soldadura) o tornillos.   |
|  | Re soldado o atornillado             | Proceso final de soldadura o atornillado donde ya se define por completo la unión de los elementos según planos de taller.  |
|  | Preparación de estructura y pintura  | Limpieza de escoria y suciedad por el proceso de re soldado o atornillado, para ser retocada la base de pintura anticorrosiva (cromato) y después colocar la pintura de acabado final.  |

# Control de subprocesos actual

En el cuadro 3, se observa la clasificación actual de los procesos identificados de la empresa, con las herramientas de control respectivas, dejando

entrever las necesidades de control para una mejora en la calidad y organización general de los procesos.

| <b>CUADRO 3. HERRAMIENTAS DE CONTROL DE LOS SUBPROCESOS EXISTENTES EN LA EMPRESA SERVICIOS ESTRUCTURALES S.A.</b> |                                      |                               |
|---|--------------------------------------|-------------------------------|
| Proceso   | Subproceso                           | Herramienta de control        |
| Fabricación en taller   | Realización de plantillas            | No existe                     |
|   | Preparación del material             | No existe                     |
|   | Marcación                            | No existe                     |
|   | Cortes y perforaciones               | No existe                     |
|   | Armado                               | No existe                     |
|   | Preparación de piezas y pintura      | No existe                     |
|   | Identificación                       | No existe                     |
|   | Carga y Transporte                   | Requisición por tarea Anexo 1 |
| Montaje en obra   | Realización de diagramas de montaje  | No existe                     |
|   | Descarga, recepción y almacenamiento | Requisición por tarea Anexo 1 |
|   | Montaje                              | No existe                     |
|   | Apuntalado                           | No existe                     |
|   | Re soldado o atornillado             | No existe                     |
|   | Preparación de estructura y pintura  | No existe                     |

## Análisis 80-20 o análisis de Pareto

En los cuadros 4, 5 y 6, se presenta el análisis de tres distintos proyectos, se identifican los subprocesos a los cuales se les aplica el análisis 80-20, asignando los costos de cada subproceso con el porcentaje que este representa del costo

por proceso en cada proyecto específico. Los porcentajes se ordenan de mayor a menor y de esta manera se obtienen los subprocesos que componen el 80% aproximadamente del costo total de cada proceso.

| <b>CUADRO 4. ANÁLISIS 80-20 SUBPROCESOS DEL PROYECTO LATITUD DENT</b> |                    |                      |                          |
|---|--------------------|----------------------|--------------------------|
| <b>Proceso fabricación en taller</b>                                  | <b>Costos (\$)</b> | <b>% costo total</b> | <b>% costo acumulado</b> |
| Cortes y perforaciones  | \$22.676.752,47    | 43,0%                | 43,0%                    |
| Armado  | \$19.618.027,72    | 37,2%                | 80,2%                    |
| Preparación de piezas y pintura                                       | \$4.324.403,96     | 8,2%                 | 88,4%                    |
| Carga y Transporte  | \$2.109.465,35     | 4,0%                 | 92,4%                    |
| Realización de plantillas   | \$1.423.889,11     | 2,7%                 | 95,1%                    |
| Marcación   | \$1.107.469,31     | 2,1%                 | 97,2%                    |
| Identificación  | \$843.786,14       | 1,6%                 | 98,8%                    |
| Preparación del material  | \$632.839,60       | 1,2%                 | 100,0%                   |
| <b>Proceso montaje en obra</b>  | <b>Costos (\$)</b> | <b>% costo total</b> | <b>% costo acumulado</b> |
| Montaje   | \$17.968.124,45    | 79,5%                | 79,5%                    |
| Preparación de estructura y pintura                                   | \$2.034.127,30     | 9,0%                 | 88,5%                    |
| Apuntalado  | \$949.259,40       | 4,2%                 | 92,7%                    |
| Re soldado o atornillado  | \$700.643,85       | 3,1%                 | 95,8%                    |
| Descarga, recepción y almacenamiento                                  | \$497.231,12       | 2,2%                 | 98,0%                    |
| Realización de diagramas de montaje                                   | \$452.028,29       | 2,0%                 | 100,0%                   |

| <b>CUADRO 5. ANÁLISIS 80-20 SUBPROCESOS DEL PROYECTO PLAZA DEL VALLE</b> |                    |                      |                          |
|--|--------------------|----------------------|--------------------------|
| <b>Proceso fabricación en taller</b>                                     | <b>Costos (\$)</b> | <b>% costo total</b> | <b>% costo acumulado</b> |
| Cortes y perforaciones   | \$56.836.742,11    | 46,4%                | 46,4%                    |
| Armado   | \$41.892.598,71    | 34,2%                | 80,6%                    |
| Carga y Transporte   | \$9.921.931,27     | 8,1%                 | 88,7%                    |
| Preparación de piezas y pintura  | \$7.717.057,66     | 6,3%                 | 95,0%                    |
| Realización de plantillas  | \$2.817.338,51     | 2,3%                 | 97,3%                    |
| Marcación  | \$1.469.915,74     | 1,2%                 | 98,5%                    |
| Preparación del material   | \$1.224.929,79     | 1,0%                 | 99,5%                    |
| Identificación   | \$612.464,89       | 0,5%                 | 100,0%                   |
| <b>Proceso montaje en obra</b>   | <b>Costos (\$)</b> | <b>% costo total</b> | <b>% costo acumulado</b> |
| Montaje  | \$18.307.145,66    | 81,0%                | 81,0%                    |
| Preparación de estructura y pintura                                      | \$1.853.315,98     | 8,2%                 | 89,2%                    |
| Re soldado o atornillado   | \$994.462,23       | 4,4%                 | 93,6%                    |
| Apuntalado   | \$745.846,68       | 3,3%                 | 96,9%                    |
| Realización de diagramas de montaje                                      | \$474.629,70       | 2,1%                 | 99,0%                    |
| Descarga, recepción y almacenamiento                                     | \$226.014,14       | 1,0%                 | 100,0%                   |

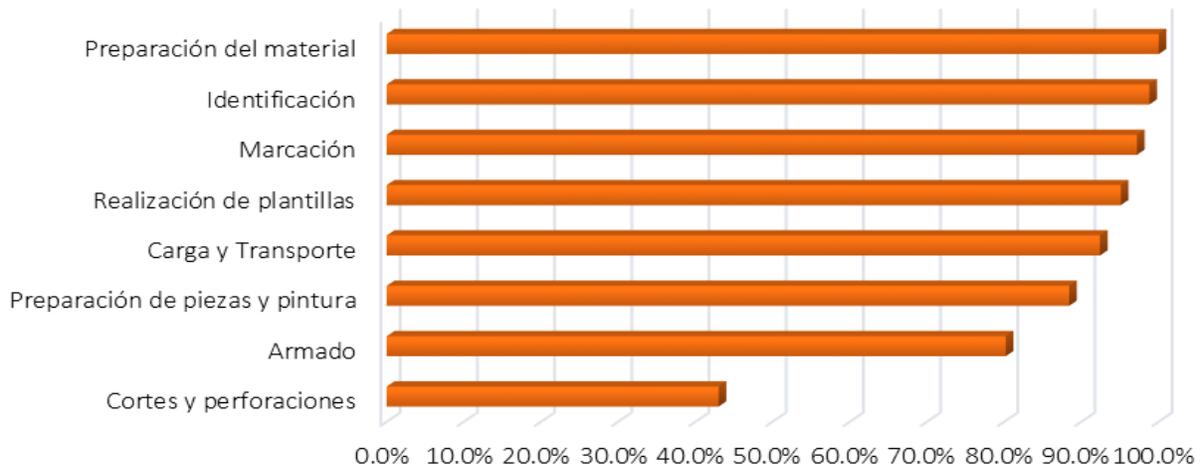
**CUADRO 6. ANÁLISIS 80-20 SUBPROCESOS DEL PROYECTO PUENTE AVENIDA ESCAZÚ**

| <b>Proceso fabricación en taller</b> | <b>Costos (\$)</b> | <b>% costo total</b> | <b>% costo acumulado</b> |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|
| Cortes y perforaciones               | \$96.750,27        | 49,8%                | 49,8%                    |
| Armado                               | \$58.671,85        | 30,2%                | 80,0%                    |
| Carga y Transporte                   | \$19.039,21        | 9,8%                 | 89,8%                    |
| Realización de plantillas            | \$10.102,44        | 5,2%                 | 95,0%                    |
| Preparación de piezas y pintura      | \$6.411,16         | 3,3%                 | 98,3%                    |
| Marcación                            | \$2.137,05         | 1,1%                 | 99,4%                    |
| Preparación del material             | \$777,11           | 0,4%                 | 99,8%                    |
| Identificación                       | \$388,56           | 0,2%                 | 100,0%                   |
| <b>Proceso montaje en obra</b>       | <b>Costos (\$)</b> | <b>% costo total</b> | <b>% costo acumulado</b> |
| Montaje                              | \$121.783,65       | 80,8%                | 80,8%                    |
| Preparación de estructura y pintura  | \$18.689,57        | 12,4%                | 93,2%                    |
| Descarga, recepción y almacenamiento | \$5.426,00         | 3,6%                 | 96,8%                    |
| Realización de diagramas de montaje  | \$3.014,45         | 2,0%                 | 98,8%                    |
| Apuntalado                           | \$1.657,95         | 1,1%                 | 99,9%                    |
| Re soldado o atornillado             | \$150,72           | 0,1%                 | 100,0%                   |

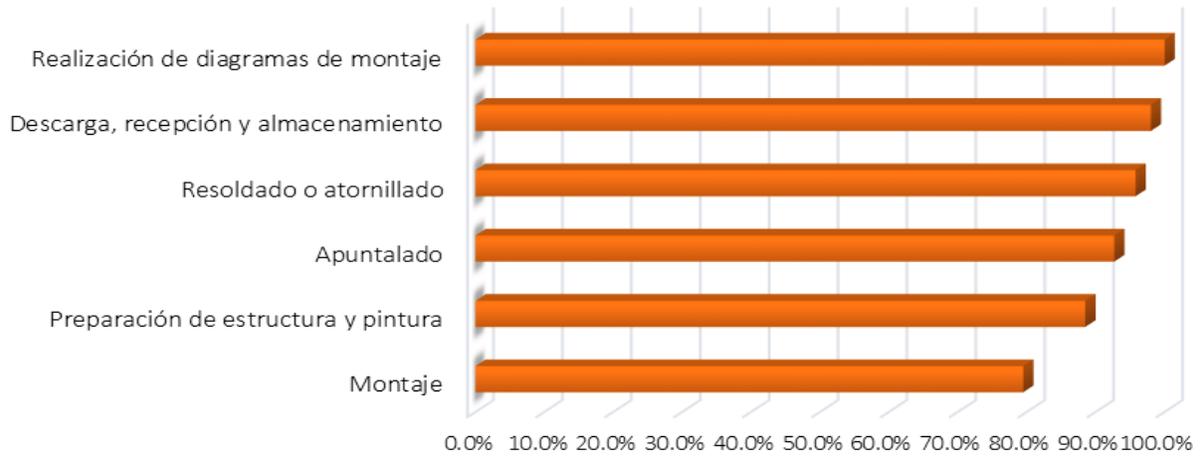
En las siguientes, figura 7 y 8 para el Proyecto Latitud Dent se observa la representación por medio de gráfico de los resultados obtenidos por medio del Análisis 80-20, de igual forma en las

figuras 9 y 10 para el Proyecto Plaza Del Valle, figuras 11 y 12 Proyecto Puente Avenida Escazú.

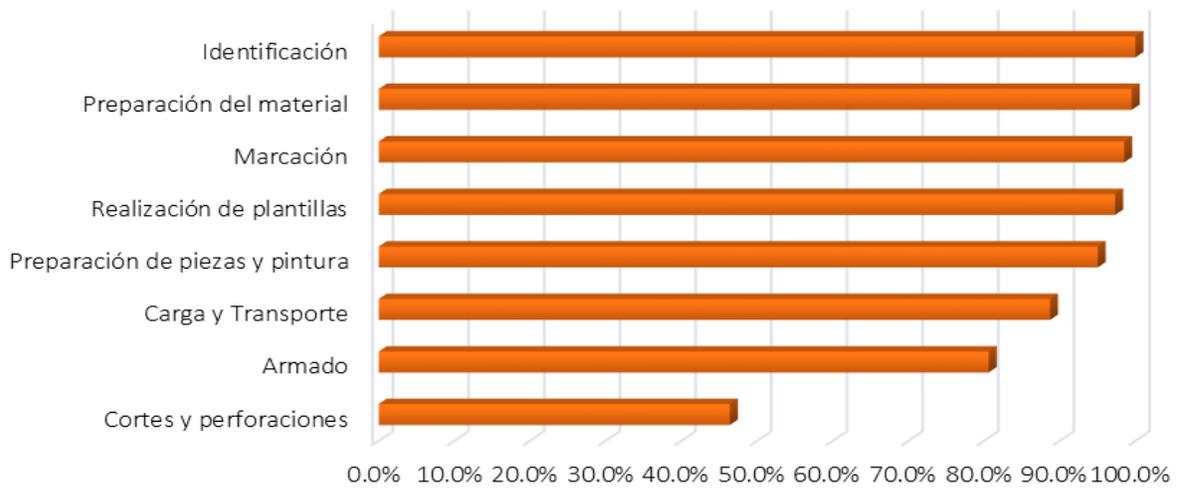
**Figura 7. Análisis 80-20 proceso fabricación en taller del Proyecto Latitud Dent**



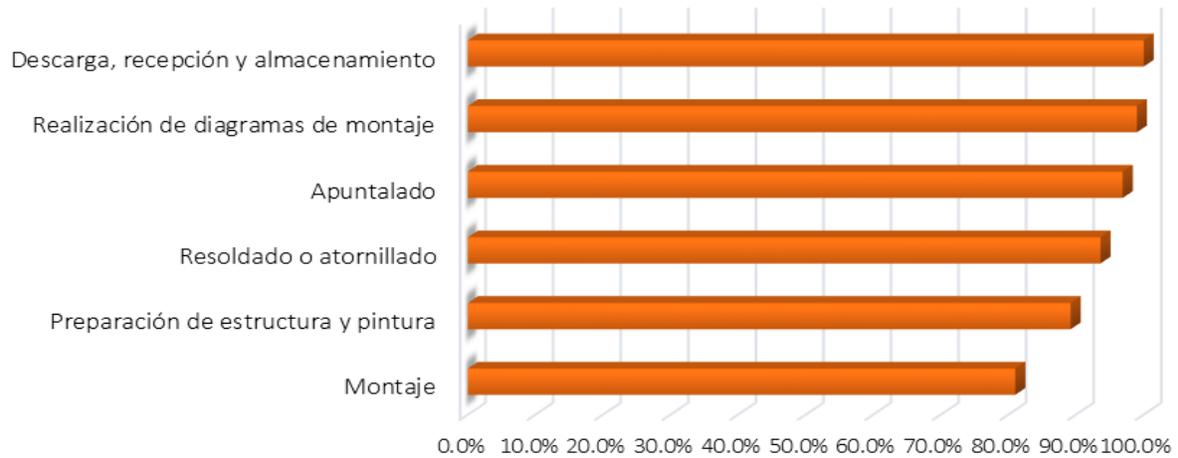
**Figura 8. Análisis 80-20 proceso montaje en obra del Proyecto Latitud Dent**



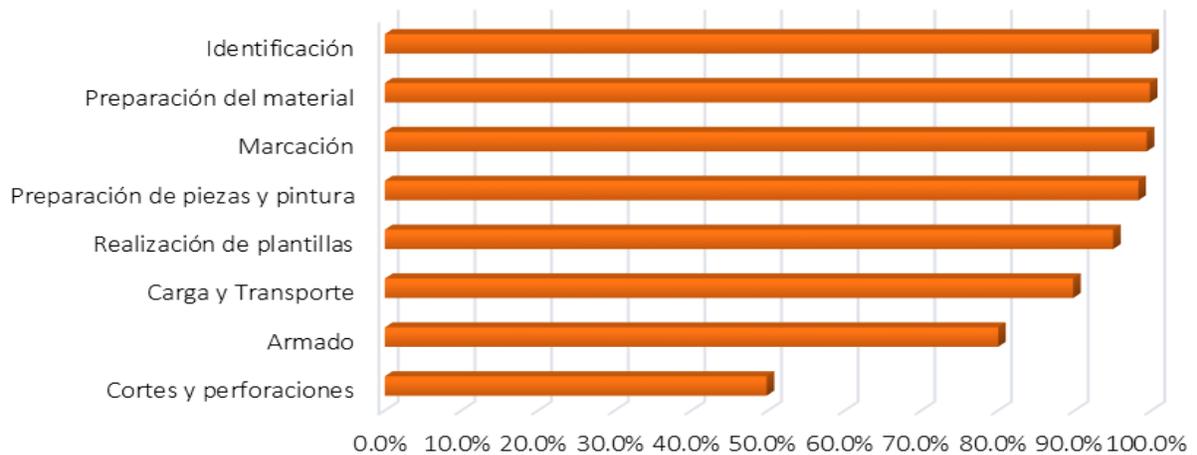
**Figura 9. Análisis 80-20 proceso fabricación en taller del Proyecto Plaza del Valle**



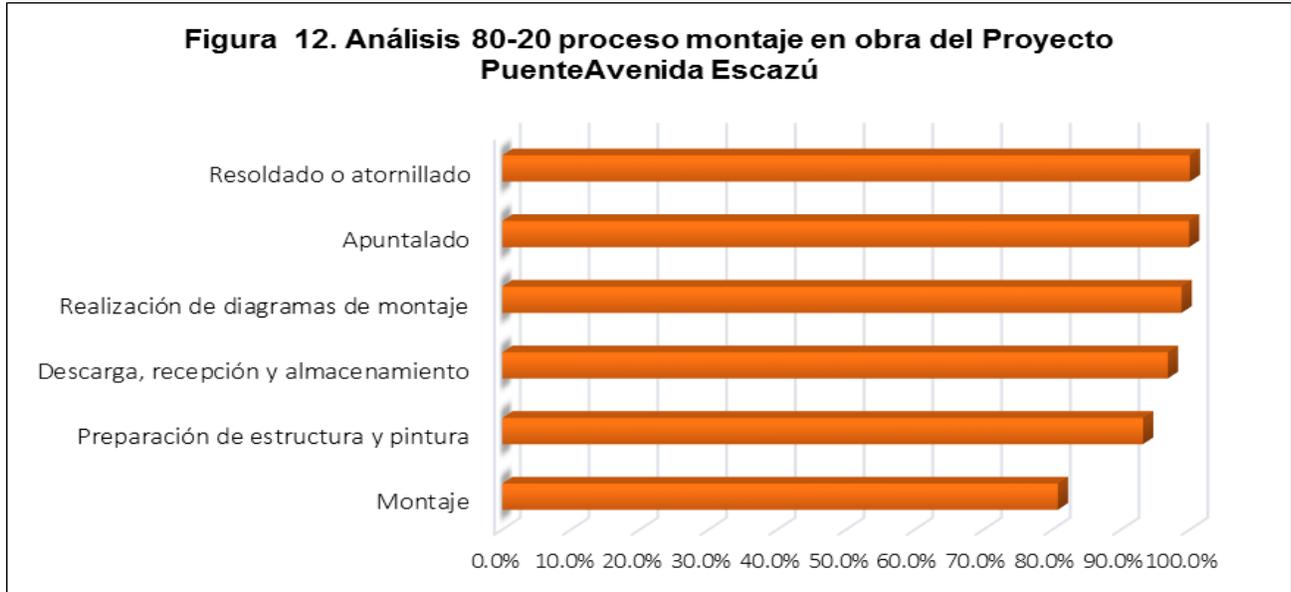
**Figura 10. Análisis 80-20 proceso montaje en obra del Proyecto Plaza del Valle**



**Figura 11. Análisis 80-20 proceso fabricación en taller del Proyecto Puente Avenida Escazú**

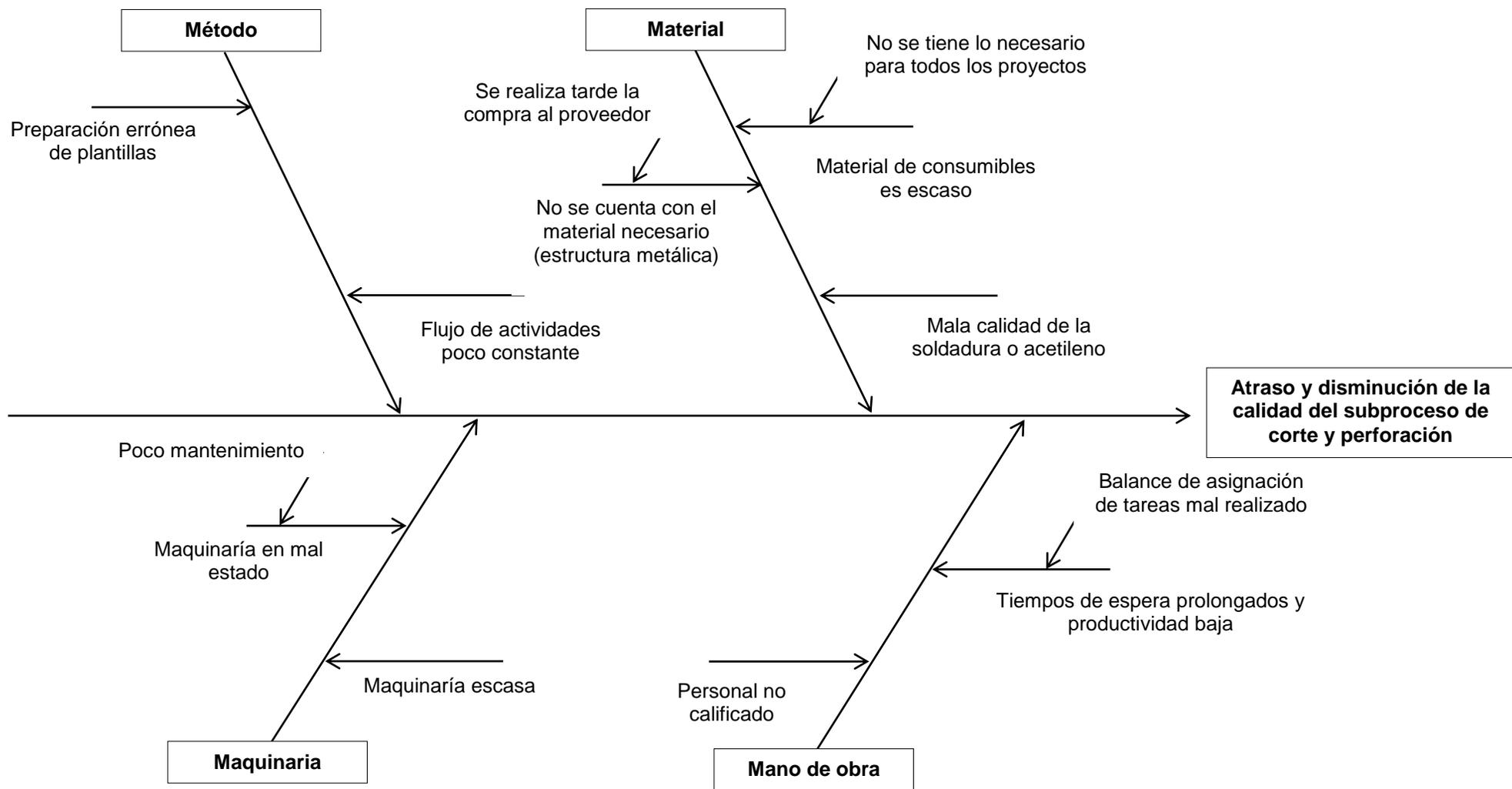


**Figura 12. Análisis 80-20 proceso montaje en obra del Proyecto Puente Avenida Escazú**



## Diagrama causa-efecto

Mediante diagramas de Ishikawa figuras 13, 14 y 15, se representan las causas que provocan los atrasos de plazo y calidad en la estructura metálica, identificados para los subprocesos de mayor relevancia según análisis 80-20, a saber, corte-perforación, armado y montaje de los procesos en la ejecución de obras



**Figura 13.** Diagrama causa-efecto subproceso de corte y perforación fabricación en taller.

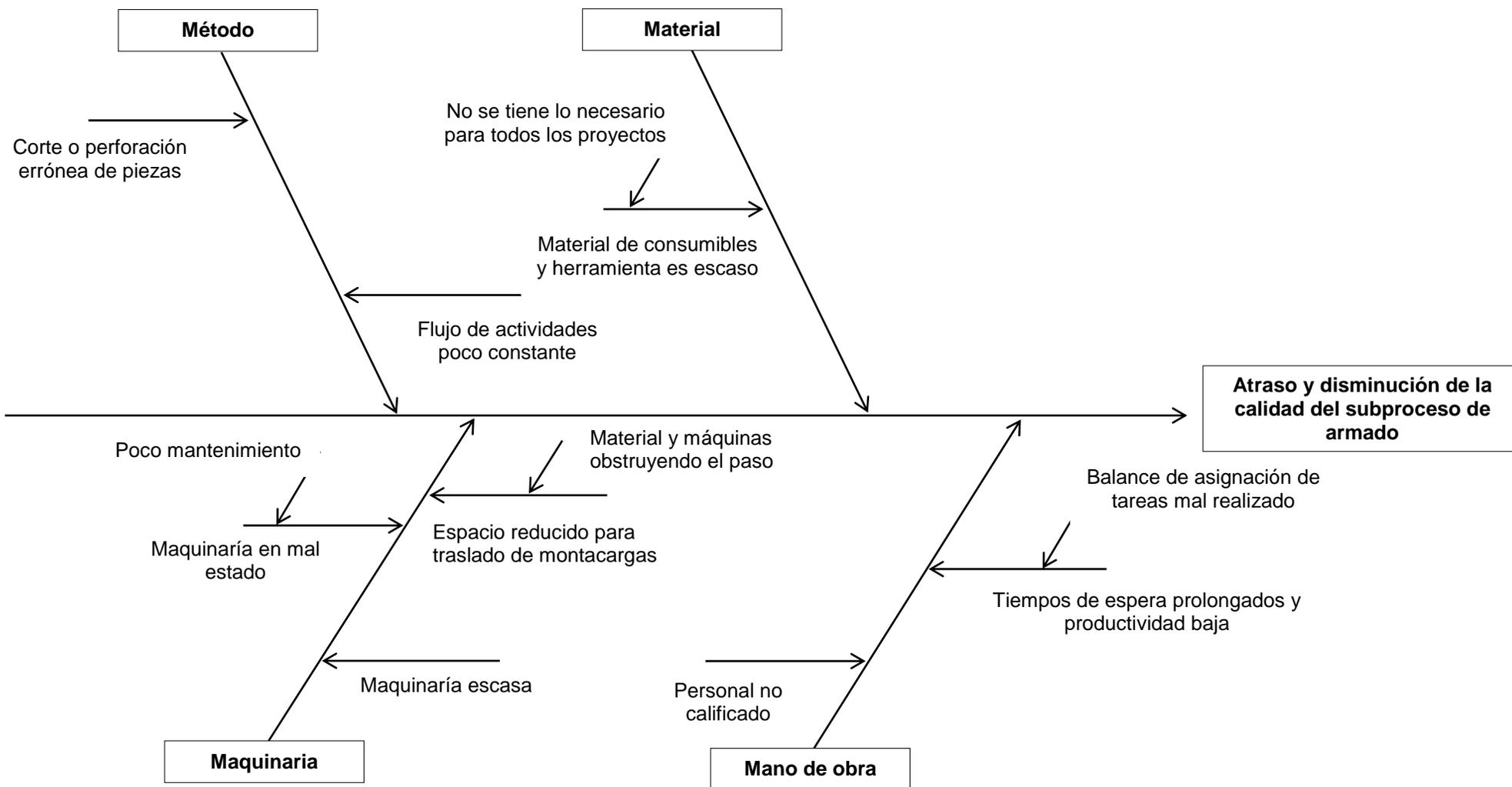


Figura 14. Diagrama causa-efecto subproceso de armado fabricación en taller.

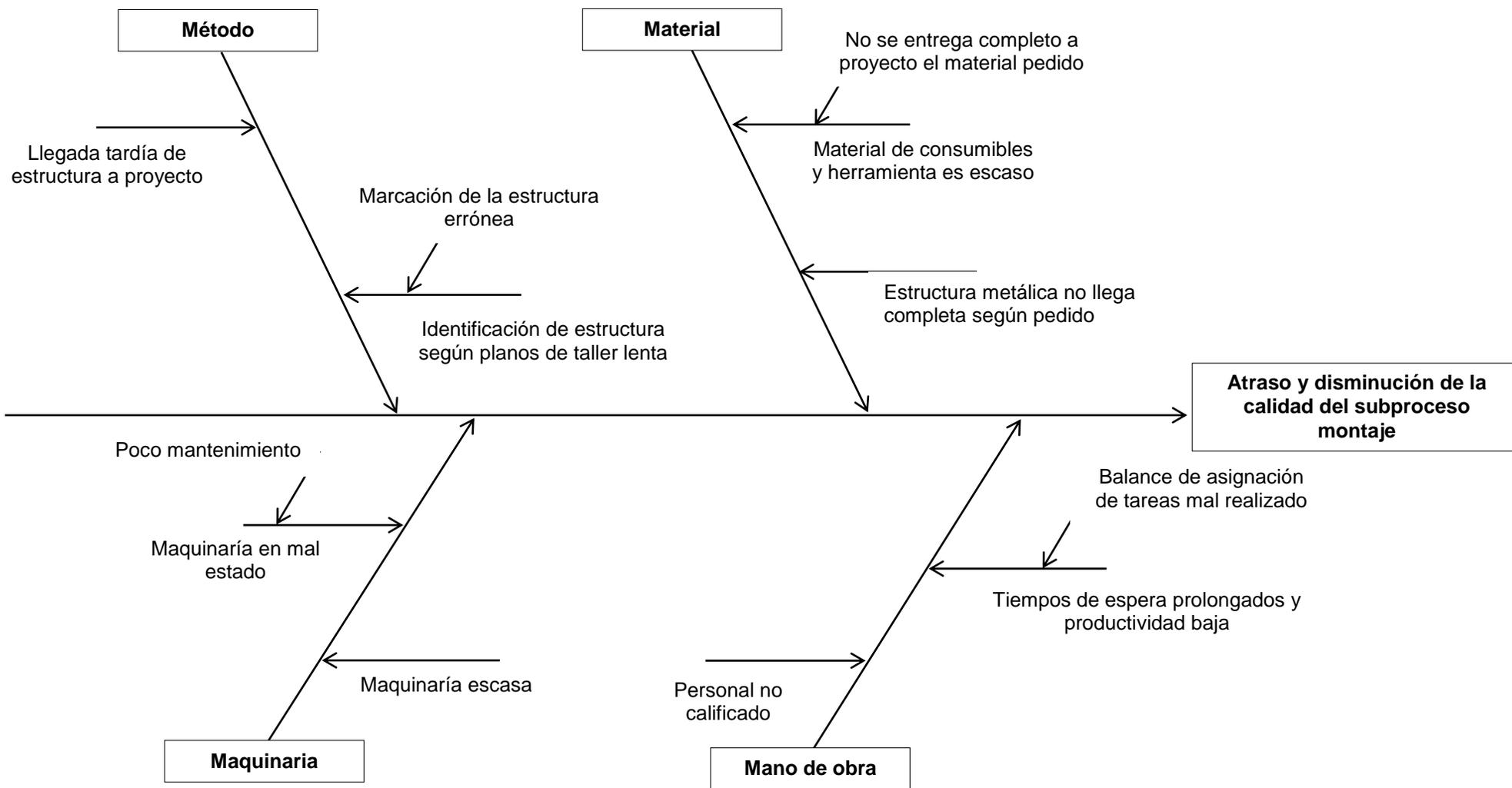


Figura 15. Diagrama causa-efecto subproceso de montaje en obra.

# Cartas de balance actividad de los recursos

La figura 16 muestra la medición de tiempos realizada a la mano de obra y la cantidad de recursos asignados en los subprocesos de corte,

perforación y armado, de una columna tipo I, en la figura 17 también se realiza la medición para el subproceso de montaje.

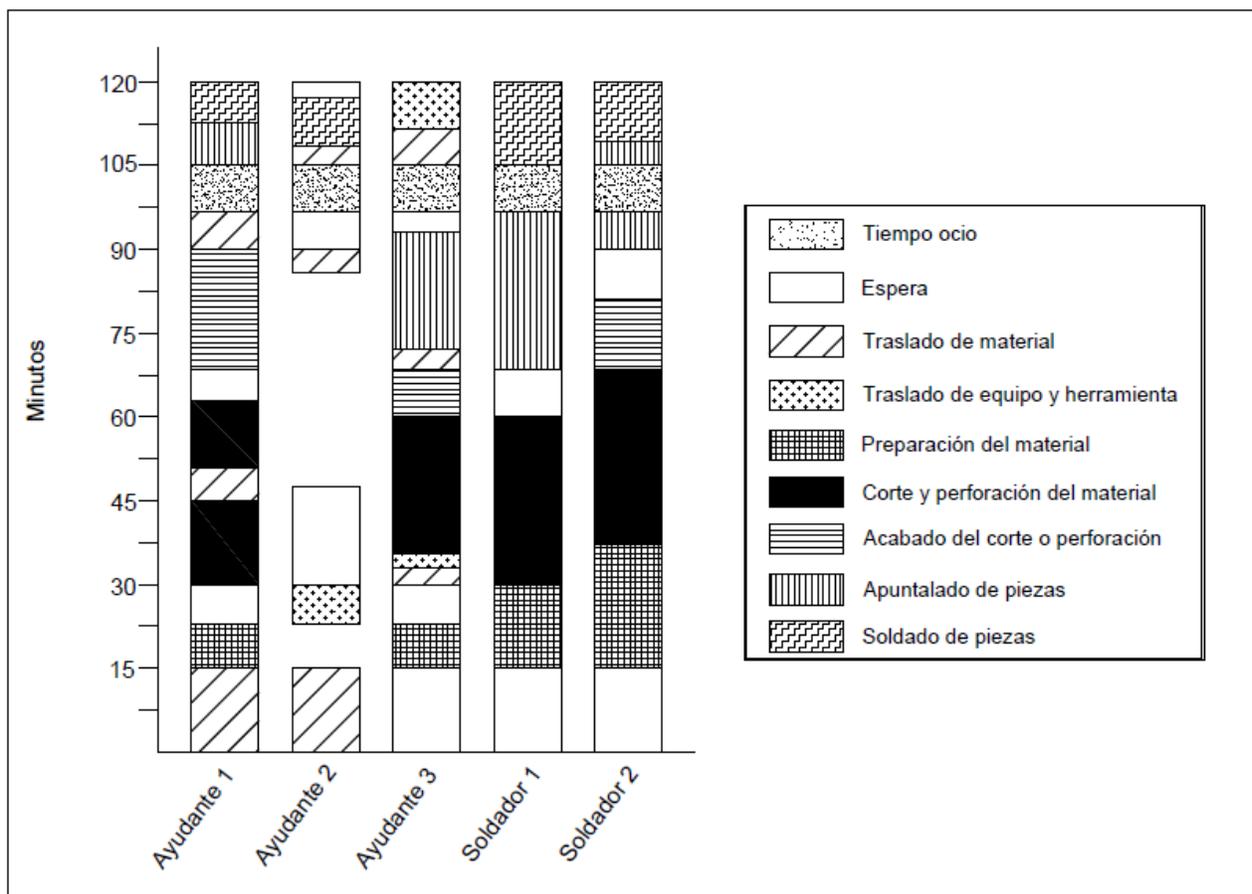
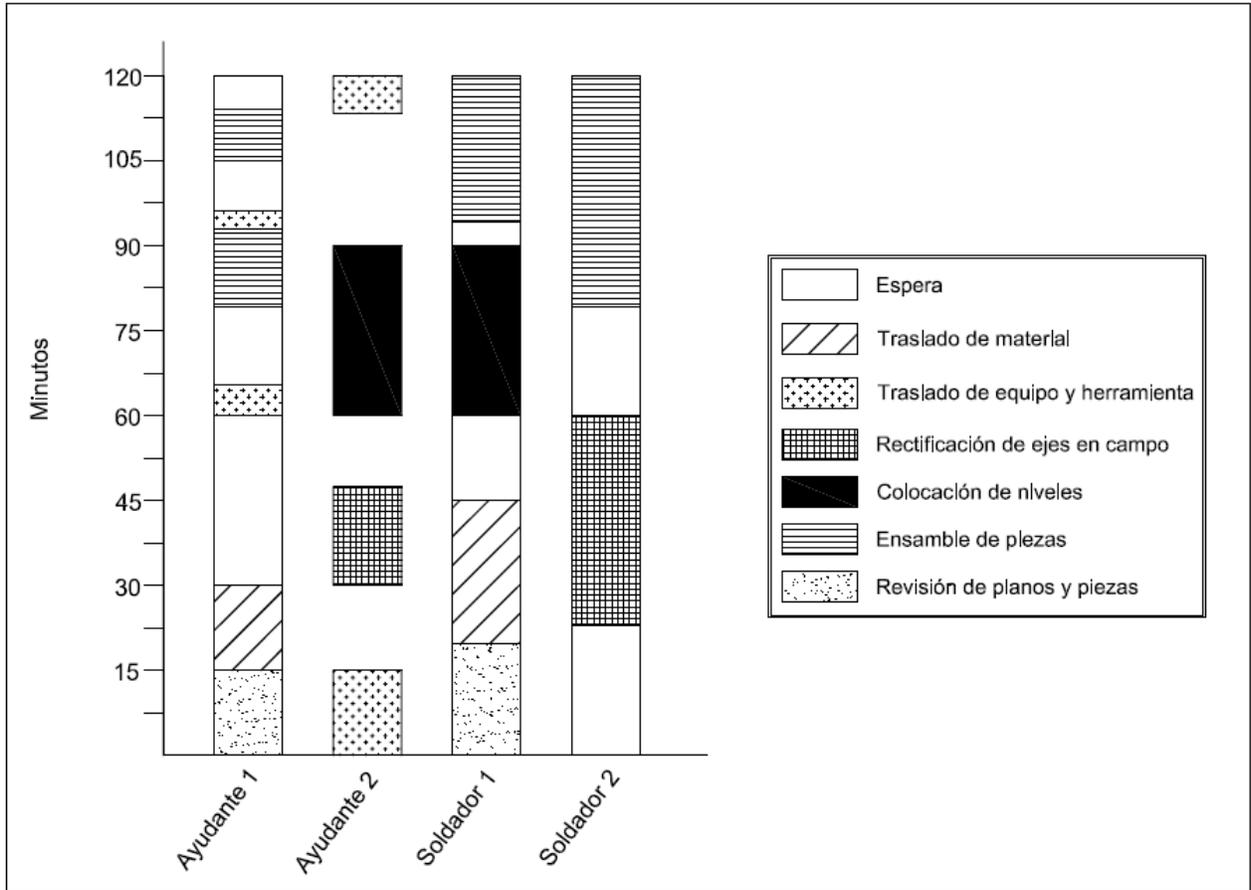


Figura 16. Carta de balance mano de obra subprocesos de corte-perforación y armado para la actividad de Columna tipo I.



**Figura 11.** Carta de balance mano de obra subproceso de montaje para la actividad de Columna tipo I.

A continuación en los cuadros 7 y 8 se presenta para cada recurso el nivel de actividad real, el coeficiente de participación y el nivel de actividad

relativo según el subproceso observado en las figuras 16 y 17 para la actividad Columna tipo I.

| <b>CUADRO 7. NIVELES DE ACTIVIDAD Y PARTICIPACIÓN DE LOS RECURSOS OBSERVADOS SUBPROCESO MONTAJE COLUMNA TIPO 1</b> |                           |                              |                               |
|--|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Recurso  | Nivel de actividad real % | Coeficiente de participación | Nivel de actividad relativo % |
| Ayudante 1   | 89.865                    | 0.925                        | 89.865                        |
| Ayudante 2   | 61.404                    | 0.534                        | 32.813                        |
| Ayudante 3   | 76.351                    | 0.925                        | 76.351                        |
| Soldador 1   | 79.730                    | 0.925                        | 79.730                        |
| Soldador 2   | 78.716                    | 0.925                        | 78.716                        |

| <b>CUADRO 8. NIVELES DE ACTIVIDAD Y PARTICIPACIÓN DE LOS RECURSOS OBSERVADOS SUBPROCESO CORTE-PERFORACIÓN Y ARMADO COLUMNA TIPO 1</b> |                           |                               |                               |
|---|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Recurso   | Nivel de actividad real % | Coefficiente de participación | Nivel de actividad relativo % |
| Ayudante 1  | 51.563                    | 1.000                         | 51.563                        |
| Ayudante 2  | 100.000                   | 0.578                         | 57.813                        |
| Soldador 1  | 84.375                    | 1.000                         | 84.375                        |
| Soldador 2  | 65.625                    | 1.000                         | 65.625                        |

## Propuesta de mejoras en los principales procesos.

Como parte de los procesos de estandarización de la organización se plantea formularios (plantillas) en el cuadro 9 y 10, atacando las causas que conllevan a los efectos, las cuales se identificaron por medio de los diagramas de

causa-efecto en la figuras 13,14 y 15, esto para los principales subprocesos identificados en taller y obra en el análisis 80-20 realizado en los cuadros 4, 5 y 6.

**CUADRO 9. PROPUESTAS DE MEJORA DE LOS SUBPROCESOS SEGÚN DIAGRAMA CAUSA-EFECTO PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN EN TALLER**

| Subproceso          | Efecto                             | Causa  | Propuesta de mejora   |
|---------------------|------------------------------------|--|---|
| Corte y perforación | Atraso y disminución de la calidad | Preparación errónea de plantillas                            | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.1. Apéndice 4.   |
|                     |                                    | Flujo de actividades poco constante                          | Planteamiento de mejora en taller por medio del diagrama de flujo diseño de planta mejorada Figura 12 y 13.   |
|                     |                                    | No se cuenta con el material necesario (estructura metálica) | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.2. Apéndice 5.   |
|                     |                                    | Material de consumibles escaso                               | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.3. Apéndice 6.   |
|                     |                                    | Mala calidad de la soldadura y acetileno                     | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.4. Apéndice 7.   |
|                     |                                    | Maquinaria en mal estado                                     | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.5.y 1.6. Apéndice 8 y 9.                                     |
|                     |                                    | Maquinaria escasa  | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.7.y 1.8. Apéndice 10 y 11.                                   |
|                     |                                    | Personal no calificado                                       | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.9. Apéndice 12.  |
|                     |                                    | Tiempos de espera prolongados y productividad baja           | Reubicación en taller por medio del diagrama de flujo Figura 12.  |
| Armado              | Atraso y disminución de la calidad | Corte o perforación errónea de piezas                        | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.1. Apéndice 4.   |
|                     |                                    | Flujo de actividades poco constante                          | Planteamiento de mejora en taller por medio del diagrama de flujo diseño de planta mejorada Figura 12 y 13.   |
|                     |                                    | Material de consumibles y herramienta escaso                 | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.3., 1.7. y 1.8. Apéndice 6, 10 y 11.                         |
|                     |                                    | Maquinaria en mal estado                                     | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.5.y 1.6. Apéndice 8 y 9.                                     |
|                     |                                    | Maquinaria escasa  | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.7.y 1.8. Apéndice 10 y 11.                                   |
|                     |                                    | Espacio reducido para el traslado de montacargas             | Reubicación en taller por medio del diagrama de flujo Figura 12.  |
|                     |                                    | Personal no calificado                                       | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.9. Apéndice 12.  |
|                     |                                    | Tiempos de espera prolongados y productividad baja           | Reubicación en taller por medio del diagrama de flujo Figura 12<br>Cartas de balance ejemplo Figuras 10 y 15. |

**CUADRO 10. PROPUESTAS DE MEJORA EN LOS SUBPROCESOS SEGÚN DIAGRAMA CAUSA-EFECTO PARA EL PROCESO DE MONTAJE EN OBRA**

| Subproceso | Efecto                             | Causa   | Propuesta de mejora  |
|------------|------------------------------------|---|--|
| Montaje    | Atraso y disminución de la calidad | Llegada tardía de estructura a proyecto                   | Reubicación en taller por medio del diagrama de flujo Figura 12.<br>Revisión de plantillas por medio de formulario 1.10 Apéndice 13. |
|            |                                    | Identificación de estructura según planos de taller lenta | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.10. Apéndice 13.  |
|            |                                    | Material de consumibles y herramienta es escaso           | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.7., 1.11. y 1.12. Apéndice 10, 14 y 15.   |
|            |                                    | Estructura metálica no llega completa según pedido        | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.10 Apéndice 13.   |
|            |                                    | Maquinaria en mal estado                                  | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.5.y 1.6. Apéndice 8 y 9.  |
|            |                                    | Maquinaria escasa   | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.7.y 1.12. Apéndice 10 y 15.   |
|            |                                    | Personal no calificado                                    | Revisión de plantillas por medio de formulario 1.13. Apéndice 16.  |
|            |                                    | Tiempos de espera prolongados y productividad baja        | Cartas de balance ejemplo Figuras 11 y 16  |

## Planta de distribución y flujo subprocesos en taller/obra

En la figura 18 se tiene la planta de distribución del subprocesos propuesta como mejora, donde se observa las áreas dedicadas específicamente para una actividad asegurando el flujo continuo

de los subprocesos vistos en el grupo de figuras 19 en forma de diagrama.

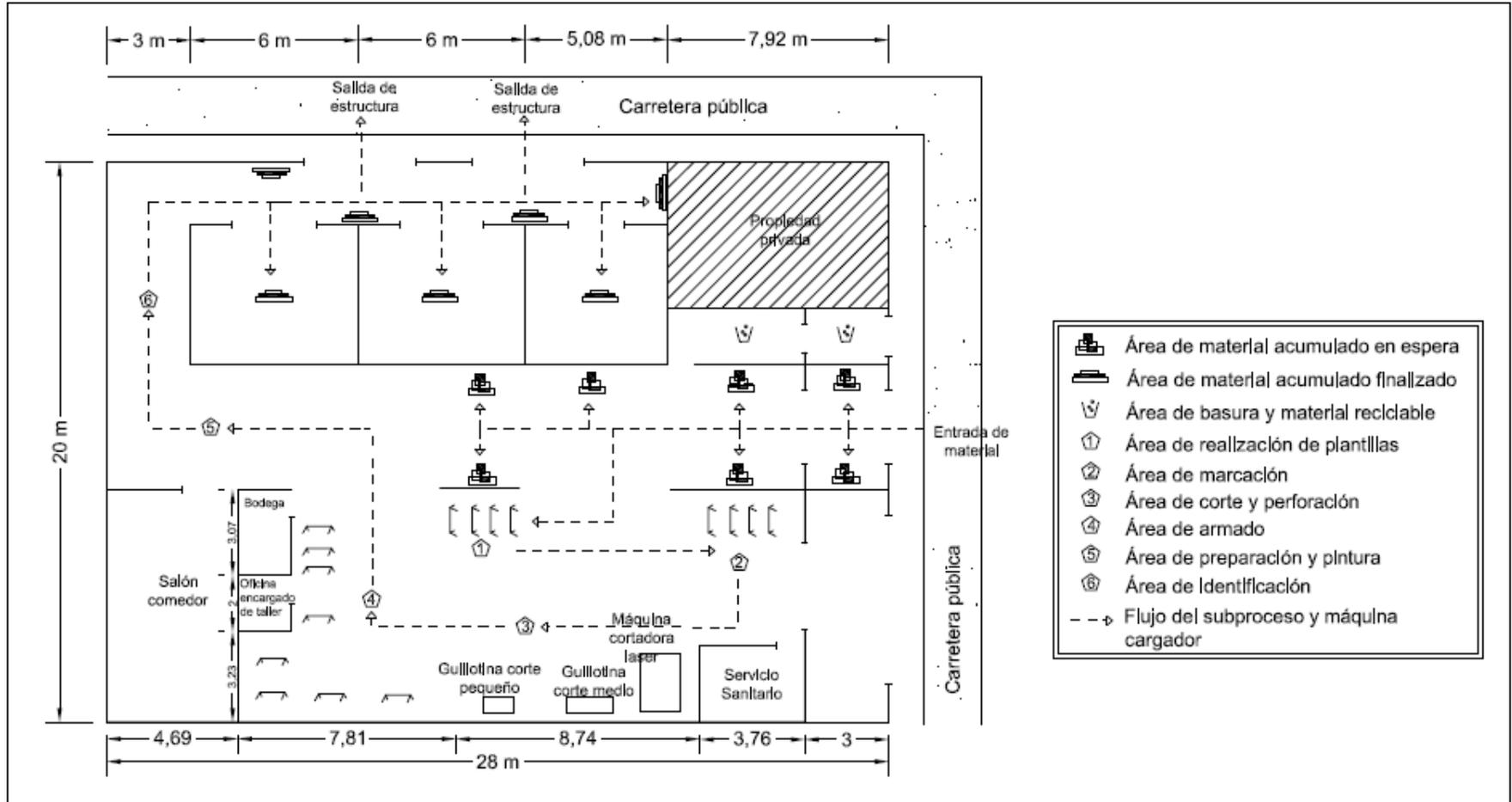


Figura 18. Planta de distribución y flujo de subprocesos mejora propuesta del taller empresa Servicios Estructurales S.A.

# Diagrama de Flujo Fabricación en Taller

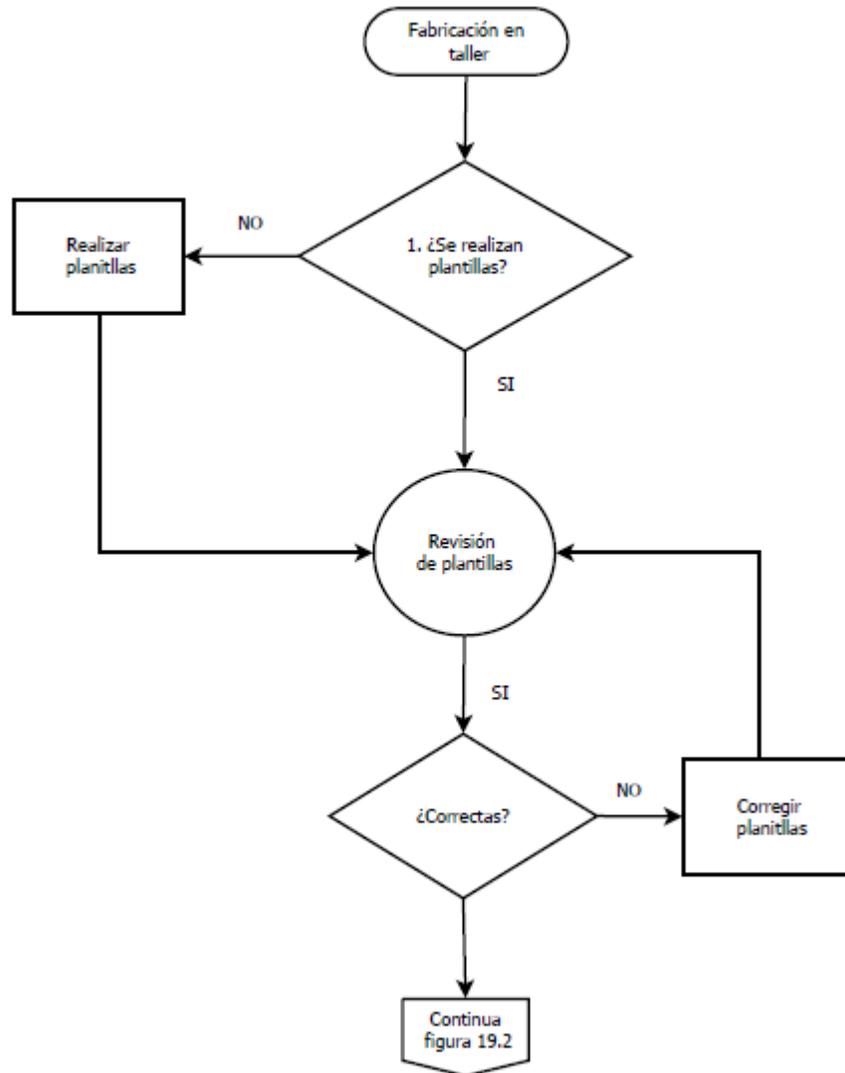


Figura 19.1. Diagrama de flujo proceso ideal de fabricación en taller.

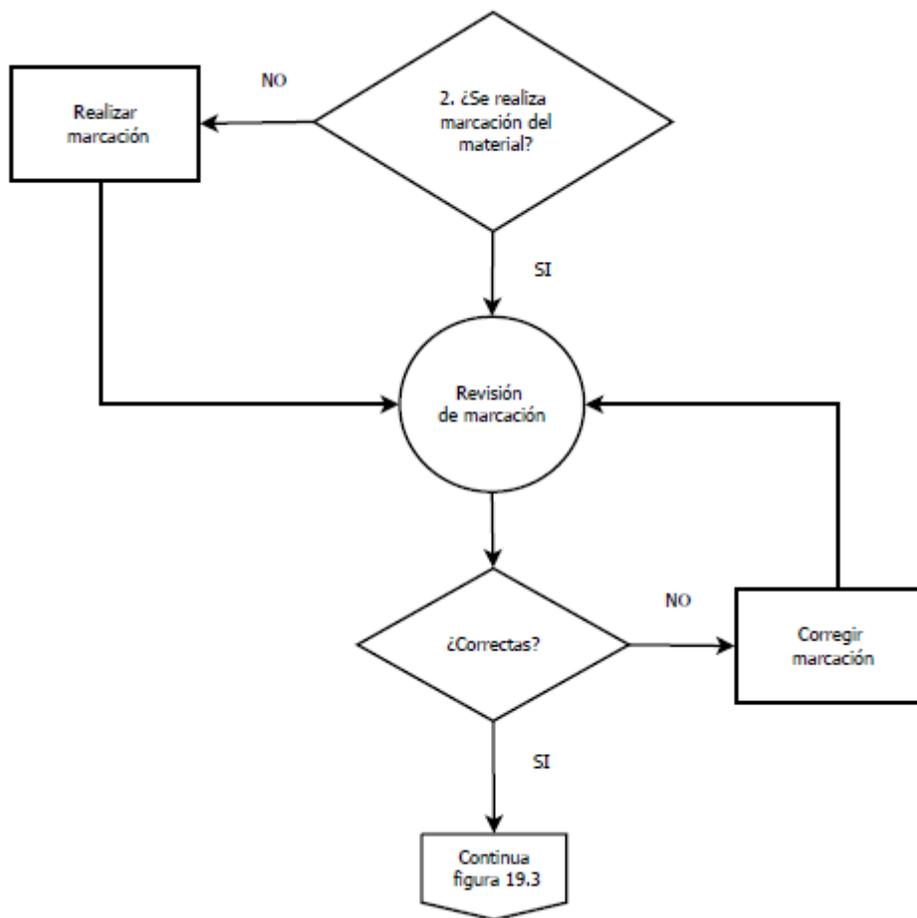
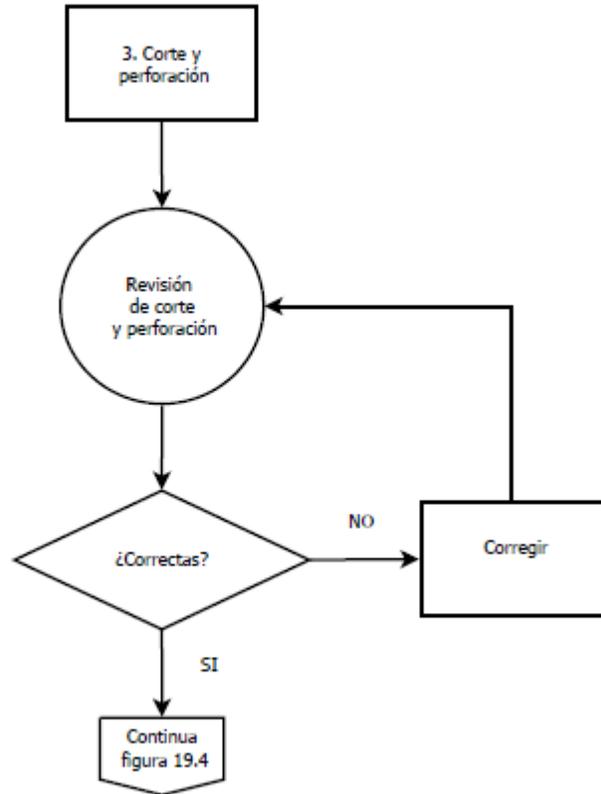
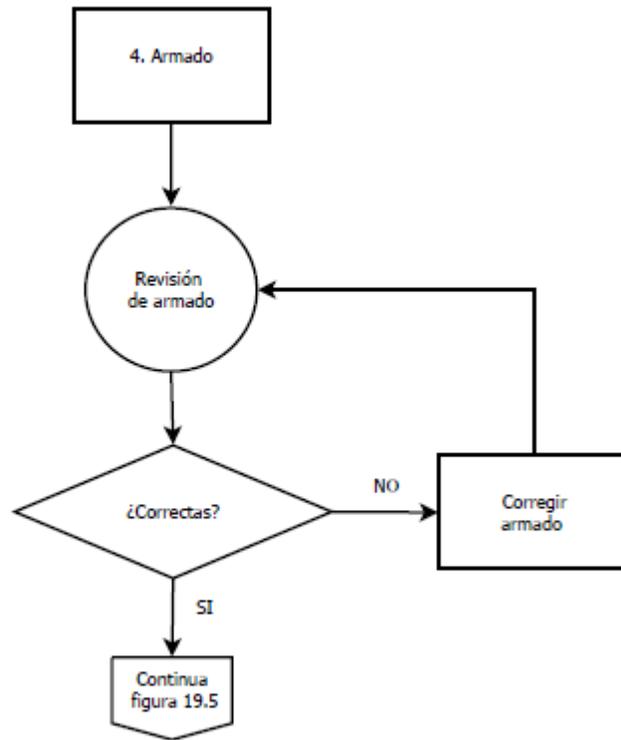


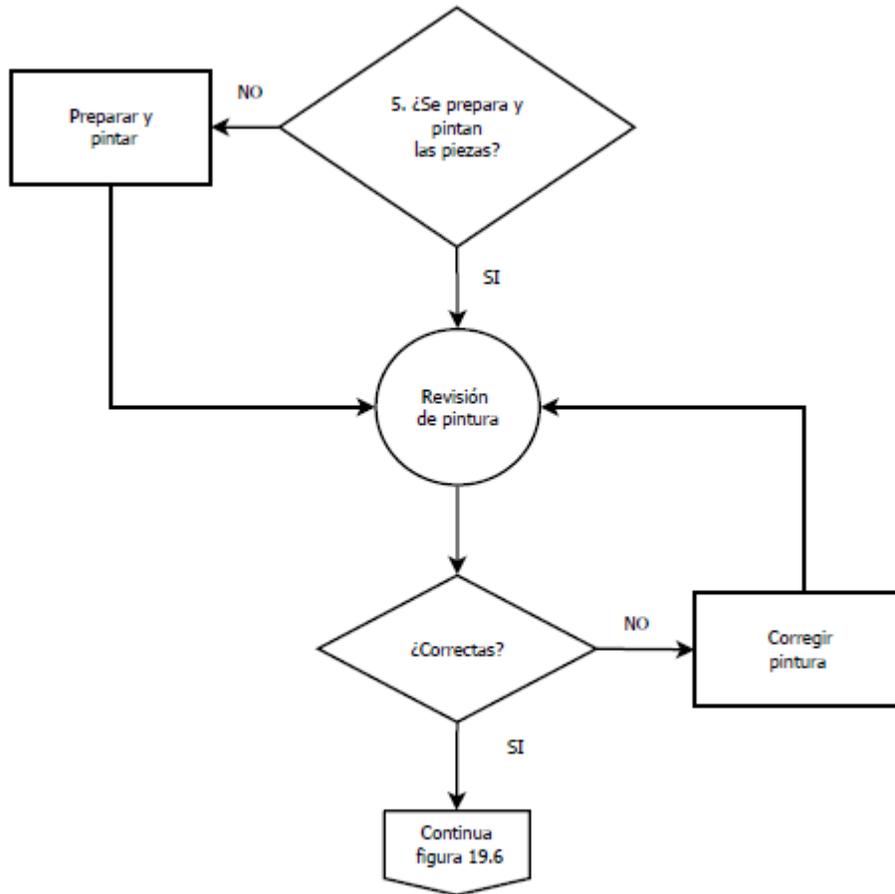
Figura 19.2. Diagrama de flujo proceso ideal de fabricación en taller.



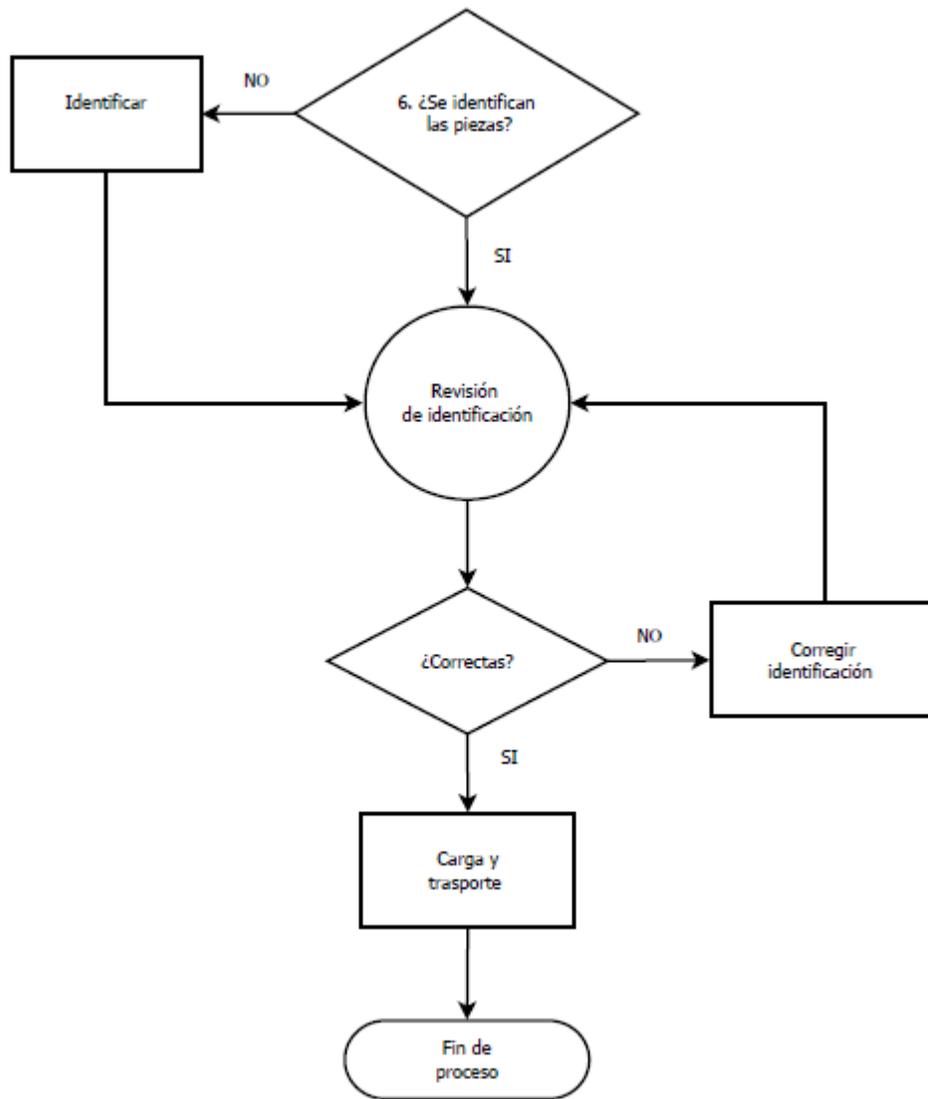
**Figura 19.3.** Diagrama de flujo proceso ideal de fabricación en taller.



**Figura 19.4.** Diagrama de flujo proceso ideal de fabricación en taller.



**Figura 19.5.** Diagrama de flujo proceso ideal de fabricación en taller.



**Figura 19.6.** Diagrama de flujo proceso ideal de fabricación en taller.

# Diagrama de Flujo Montaje en Obra

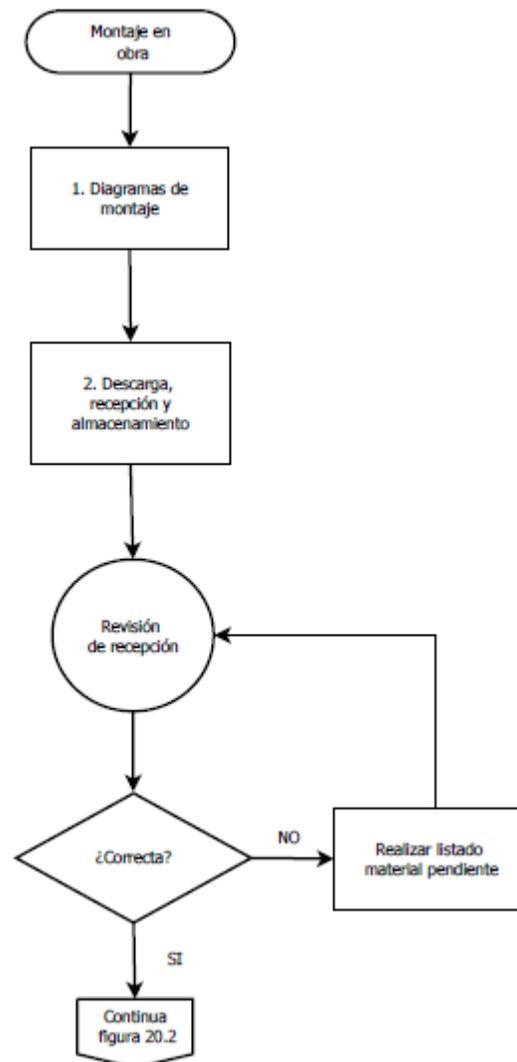
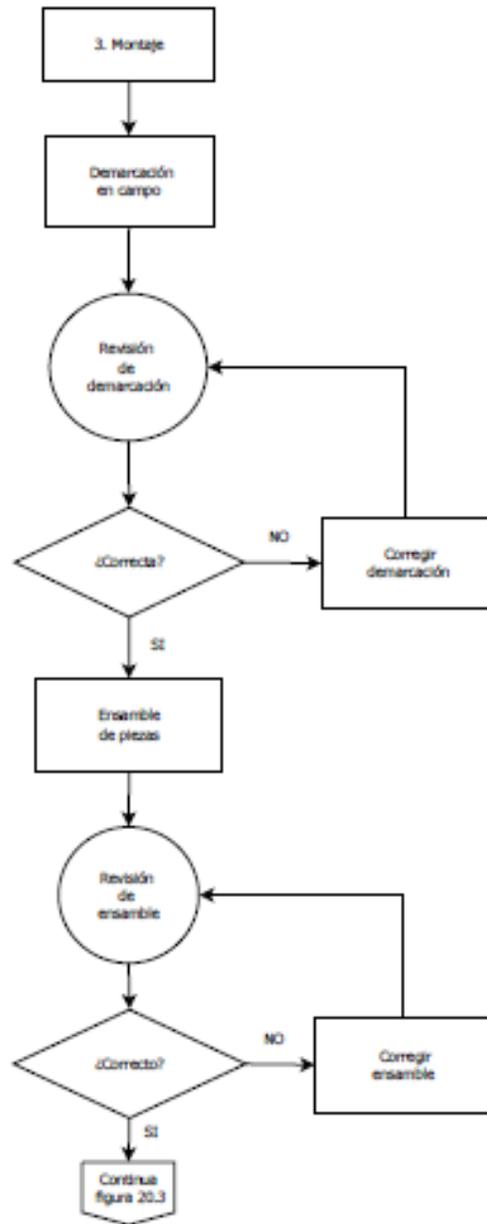


Figura 20.1. Diagrama de flujo proceso ideal de montaje en obra.



**Figura 20.2.** Diagrama de flujo proceso ideal de montaje en obra.

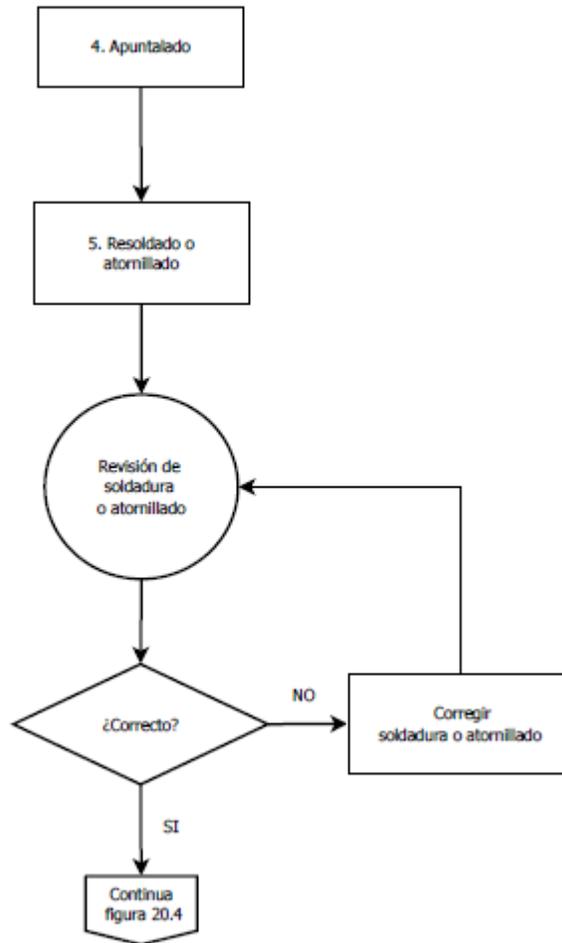
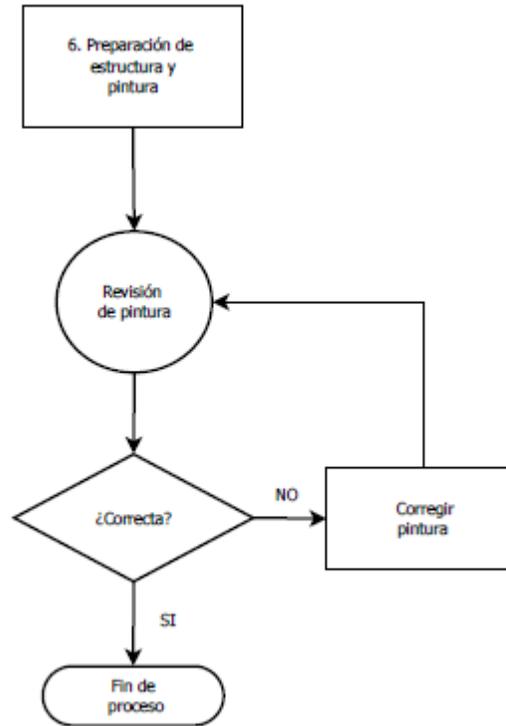


Figura 20.3. Diagrama de flujo proceso ideal de montaje en obra.



**Figura 20.4.** Diagrama de flujo proceso ideal de montaje en obra.

## Cartas de balance actividad de los recursos

En las Figuras 21 y 22 se representa la mejora de las cartas de balance obtenidas en las figuras

16 y 17 las cuales dejan entrevisto la baja productividad de los recursos (personal).

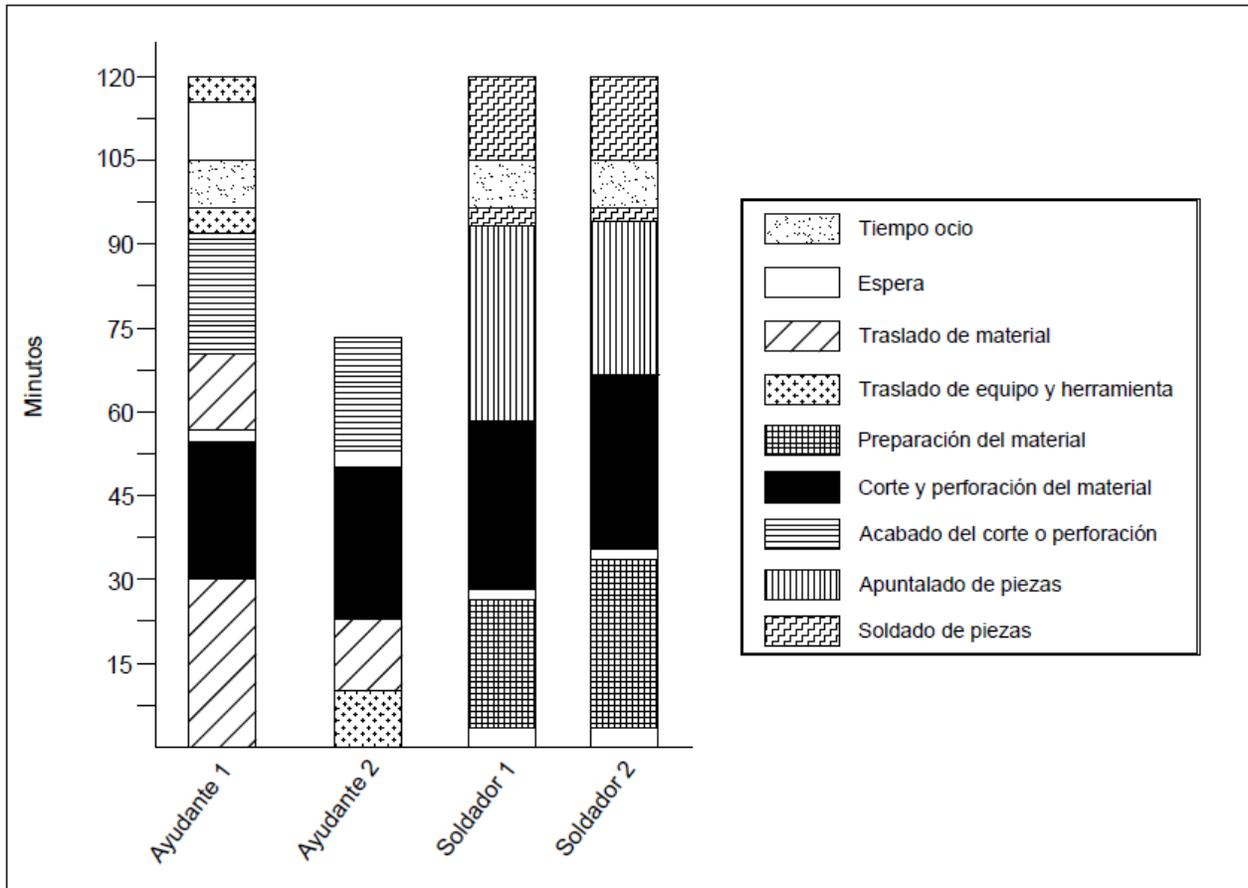


Figura 21. Carta de balance mano de obra subprocesos de corte-perforación y armado para la actividad de Columna tipo I.

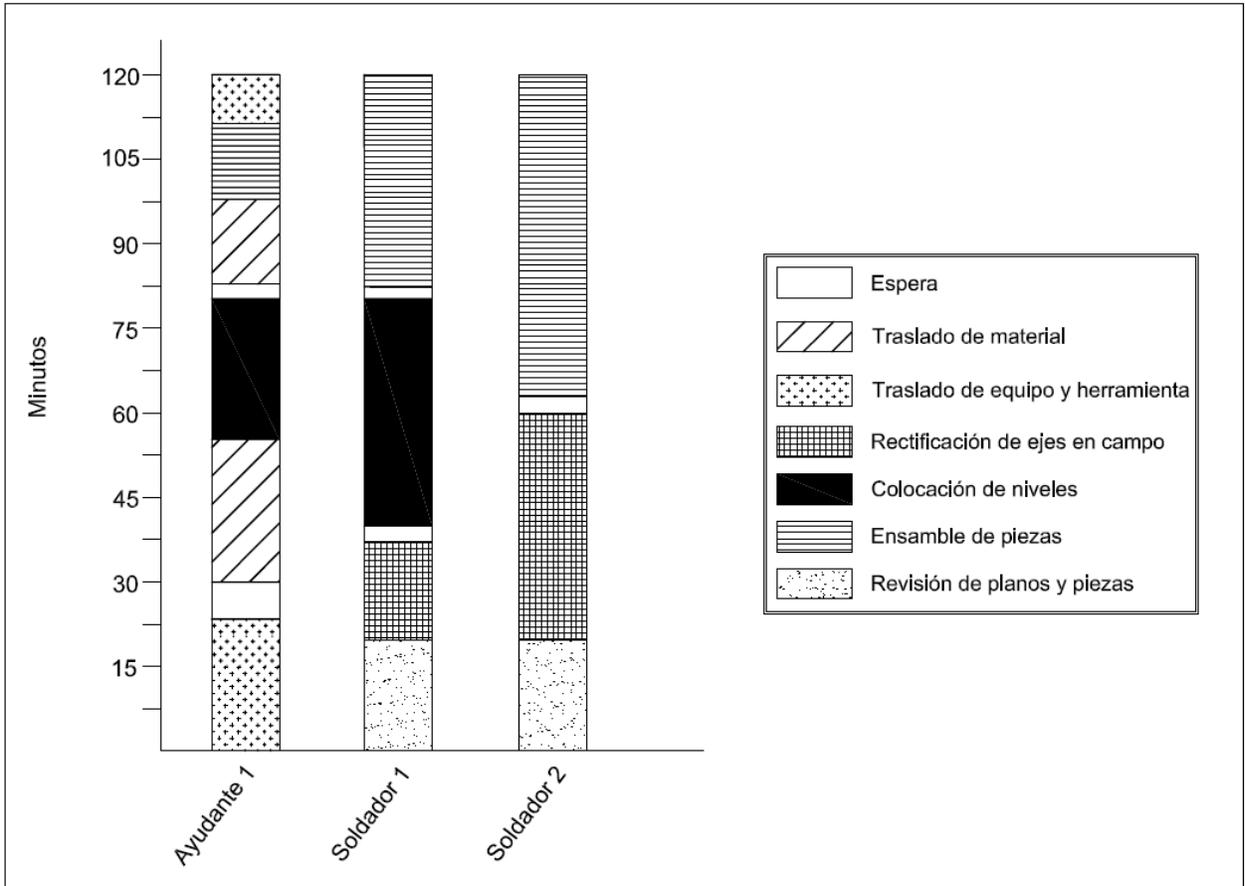


Figura 22. Carta de balance mano de obra subproceso de montaje para la actividad de Columna tipo I.

# Análisis de resultados

## Problemática de calidad y entrega

En general los problemas de calidad se dan debido a falta de gestión de la misma; la calidad se inicia con un proceso donde los requerimientos y las especificaciones del producto final se fijan y se aprueban en un plan de gestión de calidad, para luego ser puesto en práctica; sin embargo lo que aquí regularmente pasa, es el caso contrario, los requerimientos no se establecen en detalle, o no hay un acuerdo en relación con ellos y se termina con un producto al cual le faltan características importantes, tiene terminados innecesarios o agregados inútiles y por ende los problemas a la hora de realizar el montaje en obra.

Los resultados más relevantes del análisis de flujo actual fueron:

- Ausencia de flexibilidad en el proceso (un simple cambio en el producto puede requerir cambios importantes).
- Escasa flexibilidad en los tiempos de fabricación.
- Inversión muy elevada.
- Todos dependen de todos (la parada de alguna máquina o la falta de personal de en alguna de las estaciones de trabajo puede parar la cadena completa).
- Trabajos monótonos.

La distribución de las instalaciones, ver figura 6, es un aspecto importante en el correcto funcionamiento de una planta de producción. Implica la determinación del arreglo de máquinas, materiales, personal, almacenaje producto terminado, entre otros.

Se puede decir que la empresa para el tipo de ordenamiento los criterios que prevalecen son la comodidad o los accesos para la atención al

cliente. Ningún criterio de distribución como la funcionalidad, lo económico, el flujo, la comodidad, la aireación, los accesos libres y la flexibilidad son tomados en consideración.

Una buena distribución debe minimizar tanto los costos en el tiempo requerido para mover los materiales a través de los procesos de producción, como proporcionar una efectiva utilización de la mano de obra. Los trabajadores no deberían tener excesivo tiempo ocioso, o tener que recorrer grandes distancias por sus herramientas, plantillas u otros suministros. El personal de mantenimiento debería tener fácil acceso a las máquinas para repararlas, probarlas y limpiarlas. Los supervisores deberían estar situados en donde puedan mantenerse en contacto con las operaciones de producción, colocarse de manera que se reduzcan al mínimo el costo y el tiempo requerido para ejecutar sus funciones.

En términos de salud, esto puede comprender el suministro de adecuados ductos de escape para la eliminación del polvo, rocío de pintura, u otras partículas del aire, así como el manejo de los desechos en determinada ubicación y orden. En términos de peligros para la seguridad, deben tomarse medidas para guardavías, espacios entre los trabajadores y la maquinaria en movimiento, protecciones para las herramientas de corte y sierras, y de otras provisiones.

Las ventajas más importantes que se pueden citar de una adecuada distribución en planta son:

- Manejo de materiales reducido.
- Escasa existencia de trabajos en curso.
- Mínimos tiempos de fabricación.
- Simplificación de los sistemas de planificación y control de la producción. -

- Simplificación de tareas.

# Identificación y control de subprocesos actuales

Según las entrevistas realizadas, (Anexos 1,2 y 3) entro del control realizado en la empresa, se observan pocas o ninguna herramientas para los subprocesos identificados como los necesarios en una organización de este tipo.

En la fabricación en taller la realización de plantillas de las piezas en especial es una tarea con responsabilidades altas ya que de este paso depende la fabricación en masa, por lo que al realizar erróneas las platillas se efectuarán de igual forma las piezas completas por lo que se hace indispensable el control de responsabilidades y del subproceso en general para no recurrir en retrocesos, dando como conclusión costos más altos y pérdidas por multas o cualquier otra sanción al no cumplir con cronogramas planteados por el cliente.

La preparación de material como se describe en el cuadro 2, se trata de una limpieza completa y eliminación de algún defecto reparable, esto con la finalidad de obtener el material antes de ser procesado en su mejor condición, sin tener que solucionar cualquier aspecto de esta índole en el momento del siguiente subproceso, siendo este el problema que se presenta en la actualidad, lo cual se puede controlar por medio de asignación de responsabilidades y revisiones estrictas del material al entrar al taller.

Los planos de taller son realizados por el departamento de dibujo, estos presentan toda una codificación especial en la cual se pueden identificar dos aspectos de cada pieza, el número de proyecto el cual es asignado en el momento de realizar el presupuesto inicial y el número de pieza específica, al pasar los planos a taller de fabricación estos deben ser estudiados por el encargado en este caso actualmente por el maestro de obras el cual dé la explicación a los operarios del marcado para proceder al corte y perforación de las piezas, de este punto en

adelante el control del subproceso se pierde, no se realiza la revisión respectiva por parte del encargado, cortando y perforando el material una y otra vez de forma errónea y sin ser detectados en el momento preciso.

El corte y perforación del material es de los subprocesos de mayor costo, lo cual observamos en los cuadros 4, 5 y 6 donde se estudió por parte de Pareto la importancia en números en tres diferentes proyectos en los que participó la empresa, el material al concluir el subproceso será una pieza es su totalidad, por lo que la revisión constante de los encargados durante este así como de maquinaria y herramienta que necesita ser calibrada o encontrarse en buen estado es indispensable para la calidad final del producto, por medio de las entrevistas se deja entrevisto la falta de tiempo del encargado (maestro de obras) para dichas revisiones, la no existencia de un especialista en mantenimiento, lleva a retomar este subproceso en diferentes puntos del proceso de fabricación como se observa en el diagrama de flujo actual de la empresa figura 5, llegando al armado de las estructuras de forma errónea no congruente con los planos de taller, siendo difícil de identificar sin control alguno.

La estructura ya lista sea errónea o no (según proceso actual) pasa a preparación y limpieza con la finalidad de ser pintada con la base necesaria según especificación de las pinturas a utilizar, al efectuar el corte, la perforación y el armado las piezas como material metálico que es produce suciedad, escoriación por lo que debe ser completamente eliminado antes de colocar dicha base, la revisión de este subproceso aunque no parece ser importante conlleva de igual forma que los anteriores a un retroceso si no se ejecuta, al no limpiarse la pieza y colocar la base la suciedad no retirada produce el

levantamiento indiscutible de esta base y por ende la pintura de acabado final, este impacto se observa al momento del proceso en obra ratificado por el maestro de campo y el ingeniero residente según entrevistas ver Apéndices 1, 2 y 3.

El siguiente subproceso es parte de un caos que implica verificaciones exhaustas por parte del ingeniero residente el cual es el que realiza el pedido del material y según informa las piezas no son identificadas en la mayoría del tiempo como están en planos de taller, códigos borrosos en las piezas, piezas sin codificar, cantidades no congruentes con las de las piezas entregadas en obra y pedidos, falta de información de pendientes en la orden de entrega (ver Anexo 1 Requisición por tareas) son parte de los trabajos que no se deberían realizar con un control eficiente de los subprocesos en taller, la carga y transporte del material se realiza basado en los pesos y cantidades de cada estructura, velando por la calidad de la pieza finalizada protegiendo su integridad de golpes, abolladuras, rayones o cualquier detalle que implique reparación en obra.

El flujo de las actividades representadas en la figura 5, son contradictorias, la revisión (visual) realizada después del subproceso de corte y perforación no es confiable ya que se observa que estructura en transporte o recepción o sea ya estando en obra es devuelta a subprocesos como plantillas, marcación, corte y perforación.

La estructura metálica después de ser entregada en obra es apilada para empezar con el plan estratégico de montaje en obra realizado por el ingeniero residente y el maestro de obra, los diagramas de montaje los cuales no se cumplen en su totalidad en la actualidad de la forma adecuada, donde se obviando pasos que por tiempos no cumplidos en fabricación en taller tienen que ser recuperados en obra, realizando un proceso inadecuado y en desorden llevando a errores innecesarios, el almacenamiento de material debe ser estratégico conforme se realice el montaje del material.

Se detectan problemas con la mano de obra a la hora del montaje no calificada por no realizarse pruebas al ser contratados, lo que arrastra tiempos perdidos para la curva de aprendizaje perjudicando el subproceso de mayor costo en obra, también parte del mantenimiento de la maquinaria y herramientas es puntual, la calidad del material de consumibles utilizados debería pasar por el proceso de revisión antes de ser entregado en obra ya que afecta la calidad de los subprocesos en general, en especial en el apuntalado, re soldado o atornillado de la estructura.

En el diagrama de flujo figura 5, se puede ver que los subprocesos en obra tienen un flujo más consistente con lo ideal, aún así afectado por los tiempos perdidos, concluyendo con un atraso en la entrega del proyecto y problemas de calidad por todo lo sucedido en los procesos.

## Análisis 80-20 o análisis de Pareto

Del análisis 80-20 realizado se identifica los subprocesos de mayor relevancia de cada proceso, marcados con el 80% de los costos totales, tomando en cuenta tres distintos proyectos en los que participó la empresa.

Se observa en los cuadros 4, 5 y 6 el listado de subprocesos por proceso y el costo ligado en cada uno de los proyectos con su respectiva representación gráfica en las figuras 9,10, 11, 12, 13 y 14, se distingue el porcentaje según el peso total del costo del proyecto, y el costo acumulado el cual deja claro el objetivo de este tipo de

análisis (Pareto), identificando los subprocesos de mayores relevancia, los cuales se acercan al 80% acumulado de los costos del proyecto, estos subprocesos son los que conllevan mayor cantidad de mano de obra, material, tiempo y demás que causa el alto porcentaje en costos, el resto de los subprocesos el 20% resulta ser los de menor peso en costos lo cual no quiere decir que se deban dejar de lado y se les reste importancia en la administración de los proyectos, todo proyecto según lo analizado es parte de un flujo de actividades en las que todas deben ser

revisadas y controladas por sus encargados ya que son “actividades de apoyo” a las identificadas con Pareto.

Dentro del proceso de fabricación en taller el corte y perforación como el armado resultaron ser los más cercanos al 80% para los tres proyectos, en estas actividades el material se convierte en pieza por lo que será cortado perforado y armado por lo tanto son subprocesos que prácticamente no tienen vuelta atrás, el material se modifica y es posible que al no tener la supervisión necesaria no se pueda reparar si fuera el caso crítico y resulte en tener que utilizar materiales nuevos, aumentando costos y atrasando el proceso total del proyecto, en el proceso de montaje en obra el subproceso que alcanza resultados cercanos al 80% en los tres proyectos es el montaje propio, en la administración de proyectos de estructura metálica el montaje representa la base del ensamble de la estructura, según planos de taller cada estructura tiene su dimensión por lo que el montaje, donde se rectifican ejes se realiza la nivelación y se arma la estructura debe cumplir con todo para ajustar con lo especificado y no generar costos extras.

## Diagrama causa-efecto

Como parte de los resultados del análisis 80-20 para los subprocesos de mayor relevancia en costos, se utiliza el diagrama causa efecto, según el marco teórico “permite observar de una forma más ordenada la información recolectada, representando por medio de las espinas las causas que afectan el mal”, en dichos diagramas se detecta claramente la ausencia de una gestión oportuna de los procesos de fabricación y montaje; al ser analizados se obtiene los siguientes efectos:

- Atraso y disminución de la calidad del subproceso de corte y perforación

- Atraso y disminución de la calidad del subproceso de armado
- Atraso y disminución de la calidad del subproceso montaje

En los tres casos anteriores las causantes en general y sus causas secundarias son:

- No se especifica para cada fase del subproceso, los medios de trabajo, herramientas, útiles de medida y comprobación, así como las condiciones de trabajo en que debe realizarse cada operación. No hay una definición clara de los objetivos de trabajo.
- Como fabricante se debe identificar e interpretar las especificaciones técnicas, las características del producto a unir y los requerimientos del cliente.
- No se determina claramente la plantilla (geometría, preparación, estado y dimensiones del producto).
- No se cuenta con los equipos o maquinaria en buen estado y cantidad necesaria para la ejecución del proceso.
- No se calculan los tiempos de cada operación y el tiempo unitario, como factor para la estimación de los costes de producción. (mano obra), produciendo tiempos de espera prolongados y baja productividad.
- Ausencia de capacitación del recurso humano y pruebas al ser contratados.
- La gestión de adquisiciones es nula, no se respeta proveedores por calidad de insumos ofrecidos, si no que se compra por precio más barato teniendo repercusiones irreversibles en el producto final.
- No se realizan pedidos controlados de material y consumibles para la hora de empezar los procesos.

# Métodos de Trabajo

## Cartas de balance

Por medio de observación en taller y obra se realizan las cartas de balance con la finalidad de analizar la productividad de los recursos, durante la observación se ejecutó indicando a los trabajadores de la existencia del observador, esto con el afán de evitar que se produjera algún tipo de nerviosismo o alteración en la actividad al sentirse evaluados sin el tener explicación alguna,

Para los subprocesos de corte, perforación y armado se observa en la figura 16 la participación de tres ayudantes y dos soldadores, dividiendo las actividades en tiempo de ocio, espera donde no realizan ninguna actividad pero se encuentran presentes, traslado de material, traslado de equipo y herramienta, preparación del material, corte y perforación del material, acabado del corte y perforación, apuntalado y soldado de piezas lo cuales son parte del armado como subproceso.

En el gráfico se detalla para el Ayudante 1 la variación de actividades realizadas, desde movimientos de material hasta actividades propias del soldador como lo es el soldado de piezas, no necesariamente con las facultades necesarias para este trabaja el ayudante ejecuta las labores, a pesar de este el coeficiente de participación, nivel de actividad relativa y real son aproximados al máximo ya que en la mayoría de los 120 minutos de actividad se encuentra produciendo (ver cuadro 7), el Ayudante 2 presenta una actividad poco constante en la que él sencillamente sale del sitio de trabaja por lo cual se toma como no presente en la actividad, aparte de este tiempo libre también experimenta tiempos de espera, lo cual provoca un resultado aproximadamente de la mitad del coeficiente de participación del recurso en la actividad total (ver cuadro 7), su nivel de actividad real se reporta de 61.404% a pesar de sólo tomarse en cuenta para su obtención el tiempo en que trabaja y el tiempo que se encuentra presente.

El Ayudante 3 obtiene un coeficiente de participación alto ya que en su mayoría de tiempo se encuentra presente y el nivel de actividad real coincide con el relativo ya que en ningún momento se ausenta del sitio de labores. Con respecto a los soldadores el 1 y 2 las actividades son parecidas, con tiempos en los cuales podrían realizar otras labores en las que no era necesario tomar como tiempos de espera.

En obra el subproceso de montaje (figura 17) se observa un desperdicio mayor de los tiempos, como lo menciona Hernández J.C y Vizán A , los tipos de desperdicios contemplan la espera y traslados de material o equipo innecesarios, en la actividad de Columna tipo I, tenemos a dos ayudantes y dos soldadores, en la cual el Ayudante 1 ocupa su tiempo laboral en su mayoría en traslados y parte de ellos innecesarios a la vista del observador, el coeficiente de participación de este es el máximo ya que se encuentra presente en toda la actividad, por lo que su nivel de actividad real y relativo son iguales, representando el 51.563% aproximadamente la mitad por su bajo tiempo de trabajo productivo, el Ayudante 2 se ausenta por ocasiones prolongadas por lo que su coeficiente de participación es del 0.578%, su nivel de actividad real es el máximo ya que este en el tiempo presente siempre está siendo productivo, el nivel relativo disminuye al 57.813 % por sus ausencias de la actividad.

Para el Soldador 1 y 2 sus coeficientes de participación es el máximo ya que no se ausentan de la actividad, los niveles de actividad real y relativo son iguales para cada uno por el mismo motivo, la diferencia recae en el mayor tiempo de espera presentado por el Soldador 2 que realizando un reacomodo de actividades se mejora su participación en tiempo productivo.

# Metodología LEAN mejoras en los subprocesos

Con la ayuda del Cuadro 9 donde se enlistan las propuestas para cada uno de los subprocesos, a continuación se analiza las mejoras:

## Fabricación en taller

### Corte-perforación y armado

#### Preparación errónea de plantillas o piezas

En la preparación de plantillas se tendrá que utilizar el Formulario 1.1. (Apéndice 4), este reporte de inspección se llenará completo, definiendo los datos básicos del proyecto, pieza y plano de taller a seguir con su respectivo detalle, fecha y nombre del inspector a cargo, este realizará una descripción detallada de la revisión y colocará cada punto de deficiencias que ubique en la pieza o tarea específica asignada al operario encargado, también realizará un listado de mejoras por implementar según su experiencia y observación.

La utilización de este formulario se tendrá que realizar cada vez que se realice la inspección hasta no presenciar deficiencias en la pieza o tarea sin excepción alguna.

#### Flujo actividades poco constante, tiempos espera y movilización de maquinaria

La planta en taller presentada en la figura 18, posee una mejora en el acomodo de la distribución, apegado a cumplir con un flujo constante y sin interrupciones, ilustrado en las figura 19, esto traerá un incremento en la productividad hombre-máquina para cualquiera de los subprocesos que se realizan en fábrica en especial corte y perforación, la entrada de material proveniente de fuera de taller sin ser

procesado, tendrá solo una entrada definida en diagrama como entrada de material, al entrar este material se apilará en áreas específicas cercanas la entrada, con la finalidad de no movilizar este material en distancias mayores para disminuir tiempos, como siguiente subproceso se llevará el material al sector de realización de plantillas siguiendo el flujo descrito en diagrama, al finalizar y aprobar la revisión por parte del encargado utilizando el Formulario 1.1. (Apéndice 4), estas plantillas proceden a entrar en el área de corte y perforación, en planta se colocan las maquinas (guillotinas de corte) en posición estratégica de seguimiento para que el material fluya según el proceso, mejorando tiempos y calidad de la estructura metálica.

Como punto 4 (según figura 18) se pasa el material ya cortado o perforado al área de armado el cual se procesa y al finalizar por medio del Formulario 1.1. (Apéndice 4) el encargado de taller realizará la revisión y pasará a preparación y pintura si es aprobado, la actividad se realiza por parte del operario de pintura y al finalizar será entregado al encargado de taller para su revisión y aprobación de igual forma por medio del Formulario 1.1. (Apéndice 4), el material ya listo antes de cargarlo en transporte o ser almacenado se debe identificar según código de plano de taller y aprobado por el encargado de taller con el formulario respectivo.

Concluyendo el flujo del proceso con la carga y transporte.

Un flujo de esta forma organizado, conlleva a tener una mejora en el ambiente laboral, la seguridad del personal, los tiempos cortos de movimiento de cualquier tipo de recurso humano o máquina, disminución de tiempos de espera, espacios para movilizar montacargas.

#### No se cuenta con el material necesario

Para organizar el tema de los pedidos de material llámese estructura metálica en general, se

implementará por parte de la empresa el Formulario 1.2. (Apéndice 5) "Pedido Material de Producción en Taller", este formulario se tendrá que presentar por parte del encargado de taller o Maestro de obras dos veces a la semana el día lunes y jueves sin excepción alguna al encargado de departamento de Proveeduría, con el listado del material por proyecto con fecha del pedido, cantidades, su respectiva descripción, la actividad para la cual será manejado, el encargado de proveeduría firmará el recibido y procederá a la compra del material, al llegar el material a taller posterior a la compra el encargado de proveeduría entregará el material al encargado de taller el cual firma de recibido, se colocará el estatus del material ya sea Entregado o Pendiente de entrega, especificando en la columna de "Pendientes" la cantidad del material por entregar, el mismo formulario se le dará seguimiento para la entrega del material pendiente el cual se firmará cuando sean entregados en su totalidad a taller.

La entrega de materiales a taller solo se podrá realizar en dos partes, no se excederán de dos entregas para un mejor control y acomodo en taller, estas entregas se realizaran máximo después de una semana del día que se realice el pedido por parte del Maestro de obras o encargado de taller a proveeduría.

## Materiales consumibles escasos

En el Apéndice 6 (Formulario 1.3.) se encuentra el pedido de material de consumible, este pedido se realizará de la misma manera que el pedido de material, dos veces por semana lunes y jueves con la posibilidad de entregar en dos tramos antes de una semana después del día de realizado el pedido, cada entrega firmada por el que lo recibe en taller, respetando las columnas de pendientes como se explicó en el apartado anterior.

## Mala calidad de soldadura y acetileno

Para la estandarización del material de consumibles que se utiliza en la empresa, se deberá investigar en el mercado marcas, y costos de las materiales una vez al mes, manipulando el Formulario 1.4. (Apéndice 7) el responsable de realizar el estudio será el encargado del

Departamento de Proveeduría, el cual colocará los tres mejores precios tomando en cuenta la calidad del material en la tabla y especificando el seleccionado por mes de menor costo, este encargado le entregará al Gerente Financiero para firmar la investigación y se pasará al Director de Proyectos el cual dará el último aval para utilizar esa tabla de materiales específico en el mes entrante.

## Maquinaria en mal estado, y escasa

El encargado de bodega responsable de las máquinas o herramientas de la empresa, efectuará el Formulario 1.8. (Apéndice 11) diario a la hora de empezar trabajos en taller a cada operario al que le entregará el equipo con hora de salida y entrada a bodega y el estado en que se le entrega, esto como control completo de la maquinaria si la máquina o herramienta presenta algún desperfecto el encargado de bodega entregará al inspector de mantenimiento la máquina o herramienta, este encargado de bodega rellenará el Formulario 1.5. (Apéndice 8), con las características de la máquina o herramienta, marca, modelo, fecha de ingreso a Mantenimiento, efectuando una descripción de los desperfectos encontrados por él en el equipo que entregará a Mantenimiento, este entrega al Inspector los cuales firmarán la entrada de la máquina o herramienta a reparación.

El formulario se guarda por parte del encargado de bodega para finalizar de rellenar después de la revisión por parte del Inspector quien tomará la decisión del estado final del equipo.

El inspector prosigue con el Formulario 1.6 (Apéndice 9) "Reporte Inspección de Maquinaria o Herramienta", colocando en el de nuevo la información básica de la maquina o herramienta en mal estado, realizando una descripción del equipo al ser inspeccionado, enlistando los desperfectos encontrados y las mejoras implementadas, como conclusión al formulario realizará comentarios que crea pertinentes y recomendaciones, anotará el estado final de maquina o herramienta entregará el formulario finalizado al maestro de obras encargado de taller para firmar y pasará al Director de Proyectos quien por medio de la firma se dé como enterado de la situación.

Como otro punto importante del tema de la maquinaria y herramienta de la empresa el Inspector de Mantenimiento llevará un reporte diario de todo el equipo que tiene la empresa, donde sabrá en qué lugar exactamente se encuentra esta y su estado actual, este se entregará mensualmente al Director de Proyectos completamente actualizado como un reporte.

## Personal no calificado

Como parte del ingreso de nuevo personal a la empresa se deberá cumplir con la Prueba-Diagnóstico de contratación de Personal Formulario 1.9 (Apéndice 12), aplicada por el Maestro de obras o encargado de taller, donde colocará datos personales, documentos aportados, con sus respectivos comentarios de las pruebas y conclusión se acepta o se rechaza como nuevo integrante.

## Productividad baja Cartas de Balance

Dentro de las mejoras que suelen ser importante y perjudicada también por el flujo del proceso se encuentra la productividad del recurso o personal.

Se realizó una observación en taller para los subprocesos de corte, perforación y armado en los cuales se observó y analizó en el apartado de métodos de trabajo por medio de cartas de balance, se propone nuevas cartas de balance según figura 21 para el subproceso de corte, perforación y armado, en donde comparando la figura 21 con la figura 16, se obtienen como resultados la disminución de un ayudante por ende se disminuye el costo de la planilla para la actividad, reorganizando las tareas para cada uno donde los ayudantes no realizarán ninguna tarea que no sea parte de su trabajo de las cuales no estén capacitados según su puesto, disminuyendo los tiempos de espera, finalizando antes el trabajo por parte del Ayudante 2 (ver figura 21), bajando costos de este ayudante en planilla y será trasladado a otros subprocesos, los soldadores 1 y 2 tomarán las actividades que según figura 16 realizaban los ayudantes fuera de sus capacidades con respecto al puesto y las desarrollarán ellos en el mismo tiempo por lo que se observa una disminución en el tiempo de espera, sin producir costos de planilla adicionales.

De esta manera se desarrollarán cartas de balance como diagnósticos para observar la organización y productividad de los recursos en los diferentes proyectos realizados por la empresa en su momento, como mínimo cinco observaciones en diferentes subprocesos y actividades, proponiendo grupos de trabajo que favorezcan un cumplimiento con mayor eficiencia.

## Montaje en Obra

### Montaje

### Llegada tardía de estructura a proyecto, no llega completa según pedidos

Para el problema de la llegada tardía de la estructura a obra será solucionado con el diagrama de flujo de la figura 18, el cual agilizará y organizará la producción de taller.

Otro Formulario a implementar es el 1.10 (Apéndice 13) "Pedido Material de Producción en Obra", el cual lo realizará el ingeniero residente del proyecto, el cual se realizará una vez a la semana donde se colocará la cantidad, descripción del material, la actividad para la que se utilizará, el ingeniero lo enviará al encargado de Proveeduría el cual firmará recibido y tendrá que pasarlo a fabricación en taller y el encargado de taller será el que lo aliste el material por enviar a obra, quien tendrá una semana para completar el pedido desde el día que lo envía el ingeniero a proveeduría, con dos entregas máximas en ese periodo.

### Identificación de estructura según planos de taller

El Formulario 1.10 (Apéndice 13) indica el código del material al pedirse a taller por lo que en fabricación en taller en el subproceso de identificación se colocará dicho código en cada estructura realizada y como se explicó anteriormente en flujo de actividades poco constantes, este en taller será revisado por el encargado por medio del Formulario 1.1. (Apéndice 4), al llegar a obra el chofer entregarán el formulario de pedido y será revisado por el Ingeniero Residente o Maestro de obras.

## Material de consumibles y herramienta escasa

En el Apéndice 14 (Formulario 1.11.) se encuentra el pedido de material de consumible para obra, este pedido se realizará una vez por semana con la posibilidad de entregar en dos tramos antes de una semana después del día de realizado el pedido, cada entrega firmada por el que lo recibe en obra Maestro de obras o ingeniero residente.

Para la problemática de la herramienta escasa se llevará el informe del Formulario 1.12. (Apéndice 15).

## Maquinaria en mal estado, y escasa

El encargado de bodega responsable de las máquinas o herramientas de la empresa, efectuará el Formulario 1.12. (Apéndice 15) diario a la hora de empezar trabajos en obra a cada operario, al que le entregará el equipo con hora de salida y entrada a bodega y el estado en que se le entrega, esto como control completo de la maquinaria si la máquina o herramienta presenta algún desperfecto el encargado de bodega enviará a taller al inspector de mantenimiento la máquina o herramienta, este encargado de bodega rellenará el Formulario 1.5. (Apéndice 8), con las características de la máquina o herramienta, marca, modelo, fecha de ingreso a Mantenimiento, efectuando una descripción de los desperfectos encontrados por él en el equipo que entregará a Mantenimiento, este entrega al Inspector los cuales firmarán la entrada de la máquina o herramienta a reparación.

El formulario se guarda por parte del encargado de bodega para finalizar de rellenar después de la revisión por parte del Inspector quien tomará la decisión del estado final del equipo.

El inspector prosigue con el Formulario 1.6 (Apéndice 9) "Reporte Inspección de Maquinaria o Herramienta", colocando en el de nuevo la información básica de la maquina o herramienta en mal estado, realizando una descripción del equipo al ser inspeccionado, enlistando los desperfectos encontrados y las mejoras implementadas, como conclusión al formulario

realizará comentarios que crea pertinentes y recomendaciones, anotará el estado final de maquina o herramienta entregará el formulario finalizado al maestro de obras encargado de taller para firmar y pasará al Director de Proyectos quien por medio de la firma se dé como enterado de la situación.

## Personal no calificado

Se deberá cumplir con la Prueba- Diagnóstico de contratación de Personal Formulario 1.13 (Apéndice 16), aplicada por el Maestro de obras, donde colocará datos personales, documentos aportados, con sus respectivos comentarios de las pruebas y conclusión se acepta o se rechaza como nuevo integrante.

## Tiempo de espera, prolongados, y productividad baja

Se realizó una observación en obra para el subproceso de montaje en el cual se observó y analizó en el apartado de métodos de trabajo por medio de cartas de balance, se propone una nueva cartas de balance según figuras 22, para el subproceso de montaje, en donde comparando la figura 22 con la figura 17, se obtienen como resultados la disminución de un ayudante por ende se disminuye el costo de la planilla para la actividad, reorganizando las tareas para cada uno, disminuyendo los tiempos de espera, los soldadores 1 y 2 tomarán parte de las actividades que realizaban los ayudantes y las desenvolverán ellos en el mismo tiempo por lo que se observa una disminución en el tiempo de espera, sin producir costos de planilla adicionales.

De esta manera se desarrollarán cartas de balance como diagnósticos para observar la organización y productividad de los recursos en los diferentes proyectos realizados por la empresa en su momento, como mínimo cinco observaciones en diferentes subprocesos y actividades, proponiendo grupos de trabajo que favorezcan un cumplimiento con mayor eficiencia.

# Conclusiones

- La importancia de la interacción por medio de entrevistas y observación al personal en distintos niveles de la organización es básica para la detección de los problemas de calidad y entrega de los proyectos en la empresa Servicios Estructurales S.A.
- Las causas identificadas que generan problemas en la calidad y entrega de proyectos son la no priorización de los procesos por actividad, flujos de procesos no estandarizados, infrecuente monitoreo de procesos, baja calidad de los materiales, falta de mantenimiento de maquinaria y herramienta, material y herramientas escasa, mala planificación de los tiempos para los procesos, personal no calificado, espacios físicos de trabajo mal distribuidos.
- Al no tener un proceso adecuado que oriente las actividades de calidad, ni fije los requerimientos y los estándares que se deben satisfacer, no se está cumpliendo con la entrega de un producto satisfactorio y su fabricación y montaje representan altos costos para la empresa.
- La planta de distribución de la empresa Servicios Estructurales S.A. no satisface el flujo continuo necesario para todo proceso de producción lo cual concluye en pérdidas económicas.
- A fin de conseguir los objetivos de producción, la distribución en planta de maquinaria e instalaciones debe realizarse en base a los criterios de seguridad, calidad, respeto al medio ambiente y versatilidad adecuados, lo cual ayudará a minimizar los tiempos de los subprocesos de trazado, mecanizado y conformado.
- Uno de los problemas de la empresa Servicios Estructurales S.A. es que al no manejar herramientas para el control de subprocesos provoca descontrol en la ejecución de proyectos de estructura metálica incumpliendo la bases del flujo continuo de LEAN.
- La plantilla actual de "Requisición por tarea" utilizada por la empresa para la salida y entrada de material no se adecua a las necesidades de información de los encargados de proyectos, ya que carece de información como materiales pendientes en la entrega, lo cual produce pérdidas de control del material pendiente, ya que no queda documentado.
- La empresa mantiene dos grupos de procesos específicos en la fabricación y montaje de estructura metálica, la fabricación en taller y el montaje en obra, de los cuales se identifica por medio del análisis 80-20 los subprocesos de mayor relevancia corte, perforación y armado de la estructura en fabrica y montaje en obra.
- El control de la productividad de los recursos en los proyectos de estructura metálica por medio de cartas de balance ayudan a identificar desperdicios en mano de obra en los subprocesos de mayor relevancia, como lo es trabajos poco constantes, tiempos de espera y ausencias de la actividad por lapsos de tiempos sin justificación.
- La distribución en planta propuesta para el proceso garantiza el recorrido mínimo de los materiales y la eficacia operativa de las diferentes fases y esto contribuye también a que las interferencias en el

proceso por tiempos ociosos de los subprocesos de trazado, mecanizado y conformado se eviten y reduzcan.

- Las mejoras propuestas debe enfocarse al proceso ya sea en fabricación en taller o el montaje en obra y debe tener en cuenta sus fases en función de los caminos críticos, cuellos de botella, para mejorar el flujo en general y disminuir el tiempo del ciclo.
- Las plantillas propuestas garantizan un flujo continuo de los subprocesos, así

como la responsabilidad de los encargados teniendo control de los proyectos y futuros problemas que se presenten para su eventual medida.

# Recomendaciones

- Efectuar entrevistas y observaciones con mayor frecuencia en la organización para conocer las causas que en un momento específico estén generando problemáticas en la empresa.
- Para realizar el cambio de la organización por medio de la filosofía LEAN es necesario el compromiso de la empresa en general, educando al personal con las bases de la filosofía, por lo que se recomienda efectuar charlas en donde se le explique detalladamente los objetivos de LEAN y los beneficios a futuro.
- Ejecutar capacitaciones para el personal de la empresa sobre las plantillas a implementar y sus objetivos.
- Se recomienda la realización de un siguiente proyecto de graduación, para la implementación de la metodología LEAN propuesta para la empresa Servicios Estructurales S.A.
- Realizar en la empresa la planificación de cronogramas por medio de sistemas como los citados en el marco teórico, Plan maestro-Workflow, Look Ahead y Last planner, esto con el objetivo de integrar a la aplicación de la metodología LEAN en proyectos de estructura metálica.

# Apéndices

1. Entrevista 1
2. Entrevista 2
3. Entrevista 3
4. Plantilla Reporte de Inspección de Piezas y Tareas.
5. Plantilla Pedido Material de Producción en Taller.
6. Plantilla Pedido Material de Consumibles.
7. Plantilla Control Calidad y Costos Consumibles.
8. Plantilla Maquinaria o Herramienta en mal Estado.
9. Plantilla Reporte Inspección de Maquinaria o Herramienta.
10. Plantilla Reporte total Maquinaria o Herramienta Existente en la Empresa.
11. Plantilla Maquinaria o Herramienta por Actividad en Taller.
12. Plantilla Prueba-Diagnóstico Contratación de Personal Taller.
13. Plantilla Pedido Material de Producción en Obra.
14. Plantilla Pedido Material de Consumibles en Obra.
15. Plantilla Maquinaria o Herramienta por Actividad en Obra.
16. Plantilla Prueba-Diagnóstico Contratación de Personal en Obra.

# Anexos

1. Requisición por tarea.

# Referencias

Botero, L. F. B., & Villa, M. E. Á. 2012. *Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento)*. **REVISTA UNIVERSIDAD EAFIT**, Volumen (40), 50-64.

**CONSTRUCCION PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE.**  
Volumen (7), 47-55.

Hernández, J.C. & Vizán, A. 2013. **LEAN MANUFACTURING, CONCEPTOS, TECNICAS E IMPLANTACION**. Madrid España: Fundación EOI, 12p.

Minelly, B. 2011. **IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION PARA ACTIVIDADES DE ESTRUCTURA DEL PROYECTO NATURA DEL CONSORCIO CAMPO EMPRESARIAL CAMPESTRE**. Proyecto de Grado. Universidad Industrial de Santander Colombia. 16p.

Pons, J.F. 2014. **INTRODUCCION A LEAN CONSTRUCTION**. Madrid España: Fundación Laboral de la Construcción, 20-27p.

Rodríguez, A. Alarcón, L. & Pellicer, E. 2011. *La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador* **REVISTA DE OBRAS PUBLICAS**, Volumen (3), 1-9.

Serpell, A. 2002. **ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE CONSTRUCCIÓN**. México. Alfaomega Grupo Editor S.A., 181-188p.

Veas, L., & Pradena, M. 2008. *El Administrador integral de proyectos en la industria de la construcción*. **REVISTA DE LA**

