

Sistematización de los principios Lean en la construcción del almacén ESPH.



Abstract

The present document contains methodologies and tools that facilitate the implementation of the Lean concepts in the administration project of construction. The philosophy Lean in the construction there has the aim to handle the processes of construction on lines of constant production, similar to the used ones in the companies of industrial production, so that the control of the flow of tasks is such that avoid a series of common problems of the constructive processes and that concern the time, the cost and the quality of the final product.

The Lean philosophy stocks in such administrative technologies as Just in time, 5's, total quality control, reengineering etc the application of these technologies they have given important results to such companies as Toyota. For the development of this investigation there took the construction of the store ESPH, at the expense of construction AP, the above mentioned project served as base for the identification of the processes that are traditionally use in construction companies, identifying all the problems associated with the project. Once identified the weak points of the processes, they propose solutions based on the Lean concepts with the aim that they are applied in future projects, the above mentioned tools are focused in two point, the first one a detailed planning that predicts and avoids the occurrence of problems in process flow and secondly a system of control that guarantees the fulfillment of the planned goals.

Key words: Lean philosophy, flow of process, waste.

Resumen

El presente documento contiene metodologías y plantillas que facilitan la implementación de los principios Lean en la administración de proyectos de construcción. La filosofía Lean, en la construcción, tiene como objetivo manejar los procesos de construcción sobre líneas de producción continua, similares a las utilizadas en las empresas de producción industrial, de modo que el control del flujo de tareas sea tal que se eviten una serie de problemas y desperdicios comunes en los procesos constructivos y que afectan el tiempo, el costo y la calidad del producto final.

La filosofía Lean, se fundamenta en técnicas administrativas tales como Just in time, 5's, control de calidad total, reingeniería y otros. Técnicas que han dado resultados importantes a empresas tales como Toyota Motors.

Para el desarrollo de esta investigación se tomó como modelo la construcción del almacén ESPH (Empresa Servicios Públicos de Heredia. a cargo de AP constructora) dicho proyecto, sirvió como modelo para la identificación de los procesos tradicionalmente usados en la construcción. Problemas que afectan el flujo de trabajo y comprometen los resultados del proyecto. La identificación de todos estos problemas permitió dar soluciones de acuerdo con los principios Lean. Con el objetivo de que sean aplicadas en los proyectos futuros. Dichas herramientas están enfocadas en dos aspectos: Primero, una planificación detallada que anticipe y evite la aparición de problemas de flujo de procesos. Segundo, un sistema de control que garantice el cumplimiento de las metas planteadas.

Palabras claves: filosofía Lean, flujo de proceso, desperdicio.

Sistematización de los principios Lean en la construcción del almacén ESPH

Sistematización de los principios Lean en la construcción del almacén ESPH

JOSÉ MARTÍN RUÍZ GUZMÁN

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

Mayo del 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo.....	3
Introducción	5
Marco teórico	7
Resultados	21
Análisis de los resultados	49
Conclusiones	61
Recomendaciones.....	63
Apéndices	64
Referencias.....	87

Prefacio

La filosofía Lean surge como una alternativa de administración de proyectos, donde aumentar la efectividad y la reducción de desperdicios son sus objetivos específicos. Este pensamiento se ha popularizado alrededor del mundo, iniciando como una ideología industrial que se ha desarrollado en muchos otros sectores de la producción, de este modo la presente investigación pretende sistematizar los procesos de construcción en busca de los objetivos propios de la filosofía Lean. La iniciativa de aplicar los criterios Lean a los procesos y empresas de construcción nace debido a los excelentes resultados obtenidos con la aplicación de Lean en los procesos de manufactura, dichos beneficios se reflejan en una reducción de costos, aumento de productividad y evidentemente aumento en las utilidades de la empresa. Entonces tomando como referencia a TOYOTA MOTORS (creadora de la filosofía Just in time, ahora base de la filosofía Lean) una de las empresas de producción automovilística más importantes del mundo y considerando el éxito que ha experimentado y que actualmente tiene esta empresa; surge la pregunta: ¿Qué resultado tendría la aplicación de los métodos de trabajos usados por Toyota, en un Proceso constructivo? Muchas empresas han adoptado sistemas similares a los procesos Lean e independientemente de la denominación de su sistema de administración de procesos, los beneficios obtenidos han sido notorios en múltiples campos de la empresa.

El sector constructor, tímidamente ha incursionado en las metodologías y prácticas que propone la administración Lean o "Lean Construction". De acuerdo con los conocedores en materia de construcción, los procesos constructivos presentan una productividad baja comparada con las empresas de producción industrial. De manera que, una de las metas de esta filosofía multidisciplinaria es adoptar las técnicas empleadas en las empresas industriales y aplicarlas al sector construcción, para que se

garantice una planificación oportuna ante posibles problemas que pongan en riesgo el flujo de trabajo eficiente y además, tener un control estricto durante la ejecución de la obra. De modo que se cumplan los flujos de trabajo, cronogramas, tiempos, entregas planeadas y velar por la calidad del producto, con el propósito de dar al cliente exactamente lo que él solicita (definir el alcance), una vez que se dominen y adopten los procesos Lean a los proyectos de construcción, la empresa constructora esta identificada con la necesidad de mejora y crecimiento integral, generando un ciclo de aprendizaje y una mejora continua, que llevara a la empresa y los proyectos a alcanzar la perfección.

Popularmente las empresas de construcción en nuestro país, cuentan con esquemas de trabajo antiguos de poca a ninguna planificación, esta decisión pone en riesgo el buen término del proyecto, ya que, desencadena errores constructivos, pérdidas de tiempo, reducción de productividad y de la calidad, accidentes laborales, impacto ambiental, retraso en la entrega de proyectos, multas, sanciones, indemnización de errores y otros. Evidentemente, todos estos problemas afectan el presupuesto de la obra y ponen en riesgo los intereses de la empresa.

El desarrollo de las empresas constructoras en el país es lento. Las exigencias del mercado cada día son más estrictas, además la gran cantidad de empresas constructoras tiene saturado el sector construcción. Esta competencia descrita anteriormente desfavorece a las empresas y compromete su permanencia en el mercado. Por lo tanto, es indispensable que se busquen nuevas alternativas para que la empresa se distinga en el mercado. En este sentido, el lento desarrollo de las empresas constructoras, puede significar una oportunidad de mercado para aquellas que utilicen sistemas de mejora continua, como el sistema Lean, el cual les

permita sobresalir en el sector construcción y desarrollarse sólidamente.

La presente investigación, surge consientes de la fragilidad que tiene el sector construcción en el país y además teniendo presente la dependencia que tienen otros sectores de la economía del país, que necesitan de infraestructura para poder operar. En este sentido la construcción es esencial para el desarrollo de la industria, el turismo, la educación, la salud y el transporte, por lo tanto, es necesario mantener este sector activo. De acuerdo con lo anterior, surge la preocupación de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica y el criterio propio de los estudiantes de dicha carrera en buscar nuevas alternativas para la ejecución de obras, vinculadas a los intereses del país. La administración Lean surge más como una necesidad que como una posibilidad. Es decir, la investigación presenta puntos esenciales y herramientas basadas en los principios Lean de manufactura, que con su aplicación permitirán a las empresas constructoras aumentar su eficiencia y productividad, alcanzando objetivos importantes y lo más importante generando un camino a la perfección de los procesos.

Es una obligación de los centros de educación superior investigar e informar al sector construcción de nuevas técnicas de administración de proyectos que son tan beneficiosas para el país como para la empresa como tal. En resumen, lo que esta investigación pretende es ofrecer al sector construcción y a las empresas constructoras que lo integran una forma de administración de proyectos, facilitando puntos clave, herramientas y conceptos para la aplicación de la metodología Lean como estrategia de desarrollo y de mejora continua.

Esta investigación fue posible gracias al apoyo de la empresa AP Constructora, así como de la cooperación y ayuda de todo el personal que forma parte del Grupo AP.

Además, agradecer al personal docente de la Escuela de Ingeniería en construcción del ITCR, en especial a la Profesora e Investigadora, Ingeniera Ana Grettel Leandro Hernández que participó como profesora guía del presente trabajo. Con su apoyo y asesoramiento, permitió el buen fin de esta investigación.

Agradecer a mi familia y a mi novia que con su apoyo incondicional me han permitido salir adelante, por su comprensión y ayuda en todo

momento. Ellos me han enseñado a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Resumen ejecutivo

La aplicación de la filosofía Lean surge como una alternativa de administración de procesos. Donde la sistematización y la reducción de desperdicios son uno de sus objetivos específicos. Este pensamiento se ha popularizado alrededor del mundo, iniciando como una ideología industrial y que se ha desarrollado en otros sectores de la producción debido a los resultados importantes en términos de reducción de costos, aumento de productividad y evidentemente aumento en las utilidades de la empresa.

El estudio de la aplicación de nuevas técnicas para la administración de proyectos, representa una necesidad inmediata en el sector construcción. El paso de las metodologías tradicionales de ejecución de obras de construcción a nuevas técnicas que permitan el desarrollo de empresas y profesionales identificados con la necesidad de alcanzar una alta productividad en los procesos, resulta esencial para que el mercado de la construcción se desarrolle con mayor solidez y velocidad. Es importante que los centros de educación superior tomen como referencia nuevas técnicas en la formación de profesionales, garantizando conocimientos técnicos y prácticos que permitan reducir la vulnerabilidad del sector construcción.

El desarrollo de la presente investigación se fundamenta en definir una metodología de aplicación de los principios Lean a obras de construcción. La investigación busca crear herramientas y procesos efectivos y de simple aplicación a los procesos, que permitan resolver problemas presentes en los trabajos de construcción y que conduzcan a un crecimiento y mejora continua. Finalmente el objetivo de esta mejora es que con el perfeccionamiento y aplicación de Lean a los procesos se alcance un sistema que identifique a la empresa y que signifique una ventaja competitiva para la empresa de constructora que la aplique.

La filosofía Lean fue desarrollada en Japón por la compañía automotriz Toyota, este sistema se fundamenta en una serie de técnicas administrativas como por ejemplo Just in time,

reingeniería, 5's, sistemas de control total de calidad, entre otros, de modo que integra una serie de criterios de planificación, control, aprendizaje y mejora continua, metodologías utilizadas en muchas de las empresas de éxito alrededor del mundo como por ejemplo la empresa Toyota Motors.

Además con el desarrollo del presente documento e investigación queda comprobado que la Filosofía Lean es perfectamente aplicable en las obras de construcción.

La investigación estuvo enfocada en tres etapas:

La primera etapa, identificación de la "demanda"; consistió en el análisis de un proyecto en específico que tuvo la función de "modelo" para identificar problemas potenciales asociados a los sistemas tradicionales de administración de obras, estos problemas presentes reflejan las necesidades o demandas que la empresa constructora debe cambiar para aumentar su eficiencia. Dicho análisis, se aplicó a la construcción de un almacén propiedad de la empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), dicho proyecto fue desarrollado por la empresa AP Constructora.

La segunda etapa; "flujo continuo" consistió en el desarrollo de un diagnóstico donde se identificaron los procesos críticos y las actividades afectadas en el proceso por los problemas identificados en la primera etapa de la investigación, a partir de este diagnóstico se realizan plantillas y se proponen ideas basadas en los principios Lean para que se garantice un flujo continuo de procesos constructivos, reduciendo el desperdicio y aumentando la productividad.

La tercer etapa; "Nivelación", corresponden a un proceso de seguimiento de las herramientas desarrolladas en la segunda etapa de investigación. Estas herramientas están enfocadas en tramitar una planificación detallada, y controlar mediante líneas de producción similares a las utilizadas en las empresas industriales de producción. Estas dos

alternativas prevén la mayoría de los eventuales conflictos que pueden comprometer el proceso constructivo, en conclusión se pretende que con la aplicación de dichas herramientas la empresa inicie un proceso de aprendizaje y de crecimiento que “Nivele” los procesos hasta alcanzar la perfección de los procedimientos constructivos.

A continuación se presenta la distribución de herramientas según las etapas de aplicación de los procesos Lean seguida en la presente investigación:

Primera etapa o etapa de “Demanda”:

- Tabla de identificación de problemas constructivos presentes en la construcción del almacén ESPH.
- Plantillas de identificación de actividades críticas según costo (análisis de costo 80-20).
- Análisis de ruta crítica según cronograma de proyecto.
-
- Plan general del proyecto y cronograma de actividades.
- Definición de ruta crítica costo tiempo según plantillas anteriores.

Segunda etapa o etapa de “Flujo continuo”:

- Plantilla de diseño de sitio (distribución de área de trabajo y materiales).
- Plantilla de diseño de flujos de tareas donde se programen los recursos e insumos necesarios en cada tarea.
- Plan de programación de actividades tres semanas.
- Plantilla de asignación de responsabilidades y seguimiento de contratistas, según plan tres semanas.
- Reuniones semanales de planeación y seguimiento.
- Plantillas de planificación de flujo de actividades críticas del proyecto (ruta crítica costo – tiempo).

Tercera etapa o etapa de “Nivelación”:

- Plantilla de estadística de rendimiento semanal, basado en el seguimiento del plan tres semanas.

- Plantilla de contabilidad de costos asociados a problemas de flujo y desperdicio.
- Aplicación de las técnicas de la filosofía 5”s en la distribución y manejo del sitio.

La aplicación de los principios Lean abarcan muchas de las disciplinas correspondientes a las áreas del conocimiento como por ejemplo, alcance, tiempo, costo, calidad, recurso humano, seguridad, comunicación, riesgo, logística y ambiente. Para efectos de este documento y de la investigación, el enfoque principal fue en términos del alcance de proyecto, del costo de la obra, de la calidad y el tiempo de ejecución de la misma.

Esta investigación, se desarrolló con el objetivo de elaborar herramientas y proponer ideas propias de los principios Lean para su aplicación sencilla en futuros proyectos de construcción.

Introducción

El presente documento está enfocado en el área de administración de obras de construcción, y propone la aplicación de los principios Lean como una alternativa para la ejecución de las mismas, con el objetivo de disminuir los riesgos en la construcción, como por ejemplo, los atrasos de entrega, los sobre costos y los problemas de productividad, problemas que son comunes en los proyectos de construcción. Con la aplicación de esta filosofía la empresa tendrá de manera indiscutible una ventaja competitiva en el sector construcción, ya que, minimiza el riesgo de fracaso de las obras, aumentar los ingresos por utilidad y tiene la facultad que por su propio sistema induce a una mejora continua de procesos volviendo a la empresa cada vez más competitiva en el mercado.

La filosofía Lean fue desarrollada en Japón por la compañía automotriz Toyota. Este sistema se apoya en una serie de técnicas administrativas tales como Just in time, reingeniería, 5's, sistemas de control total de calidad, entre otras, de modo que integra una serie de criterios de planificación, control, aprendizaje y mejora continua, metodologías utilizadas en muchas de las empresas de éxito alrededor del mundo como por ejemplo la empresa Toyota Motors. Además, con el desarrollo del presente documento e investigación queda comprobado que la Filosofía Lean es perfectamente aplicable en las obras de construcción.

El sector construcción se ha caracterizado por su baja productividad, debido a la gran cantidad de riesgos asociados al proceso de ejecución de obras. Estas situaciones ponen en duda el buen funcionamiento de las obras de construcción. Por el contrario, el sector industrial cuenta con productividades altas de los procesos, además de una planificación que vuelve casi nula la aparición de problemas que afectan el flujo productivo. Entonces, de acuerdo con el análisis anterior, si el sector industrial tiene tanto éxito en el manejo de flujos de trabajo (efectividad) y

reducción de los problemas constructivos (desperdicio), por que no aplicar métodos similares en los procesos constructivos. En este sentido, la filosofía Lean se convierte en una alternativa eficiente para integrar la sistematización y control estricto de las empresas industriales en los procesos de construcción con el propósito de alcanzar el éxito del proyecto, en el tiempo indicado con la calidad necesaria y con el menor costo.

La investigación está enfocada en tres etapas, la primera consiste en el análisis de un proyecto específico que tiene la función de "modelo" para identificar problemas potenciales asociados a los sistemas tradicionales de administración de obras "demandas", dicho análisis se aplicó en la construcción de un almacén propiedad de la empresa de Servicios Públicos de Heredia, El proyecto fue desarrollado por la empresa AP Constructora.

En segundo lugar se desarrolla una etapa de diagnóstico y definición de flujo continuo de procesos constructivos, donde a partir de las demandas del proyecto en estudio se desarrollaron herramientas para procurar un flujo constante de trabajo basado en alcanzar los objetivos planteados por la filosofía Lean. Estas herramientas están enfocadas en procura de una planificación detallada (reducción de desperdicio) y un control mediante líneas de producción similares a las utilizadas en las empresas industriales de producción (aumento de eficiencia). Estas dos alternativas previenen la mayoría de los eventuales conflictos que pueden comprometer el proceso constructivo.

En tercer lugar se diseñan plantillas y metodologías de control que permitan disminuir los problemas comunes de la construcción, estas herramientas responden a un principio de "Nivelación" es decir tienen el propósito de alimentar los procesos procurando un control y cumplimiento de la planificación dispuesta en la etapa segunda de la presente investigación. El cumplimiento de estas herramientas alimentara a

la empresa creando un ciclo de aprendizaje y mejora continua, hasta alcanzar la perfección de los procesos.

Es importante destacar que la investigación no incluye la implementación de los principios al proyecto analizado. Por razones del poco tiempo en la ejecución del proyecto. Por lo tanto, la participación del proyecto Almacén ESPH únicamente tuvo la función de base-modelo para identificar y diseñar las herramientas propias de la administración Lean para ser aplicadas en futuros proyectos.

En este sentido, los objetivos del proyecto fueron:

OBJETIVO GENERAL: Aplicación de los principios Lean en LA CONSTRUCCIÓN DEL ALMACEN ESPH S.A

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Revisión del estado de arte de la filosofía Lean.
2. Identificar los procesos que representan mayores problemas de flujo de trabajo, productividad, calidad, tiempo de ejecución dentro del proyecto y en general de la empresa.
3. Determinar las tareas que componen esos procesos.
4. Diseñar el flujo del proceso productivo.
5. Obtener a partir de plantillas basadas en los métodos Work sampling, Five minutes Rattng y Crew balance el comportamiento y la eficiencia (productividad) de las actividades críticas del proyecto.
6. Crear herramientas que faciliten la implementación de los procesos Lean en futuros proyectos de construcción.
7. Plantear una propuesta de mejora de procesos constructivos y sistematización de procedimientos de planificación, ejecución y control de obras.

LIMITACIONES:

1. La aplicación de los principios Lean abarca muchas de las disciplinas correspondientes a las áreas del conocimiento como por ejemplo, alcance, tiempo, costo, calidad, recurso humano, seguridad, comunicación, riesgo, logística y ambiente, para efectos de este documento y de la investigación. El

enfoque principal es en términos del alcance de proyecto, del costo de la obra, de la calidad y el tiempo de ejecución del proyecto.

2. Esta investigación, se desarrolló mediante una etapa de recolección de datos y de análisis de procesos, una segunda etapa de diagnóstico y por último una etapa de mejora y elaboración de herramientas para la aplicación sencilla de los principios Lean. El proyecto ESPH tenía un periodo de construcción menor de tres meses, por lo que no fue posible la aplicación de las herramientas de administración Lean desarrolladas en dicho proyecto.

Marco teórico

Sistema tradicional de ejecución de obras.

La construcción es una de las disciplinas más antiguas que se han desarrollado y por su naturaleza representa un sector insustituible en el mercado, por el simple hecho de que la construcción de infraestructura genera de forma conjunta un desarrollo social y económico para las demás sectores de la sociedad, es por esta razón que los procesos constructivos son esenciales para el desarrollo social y económico de la sociedad.

La construcción es un sector en el cual muchas variables giran a su alrededor y provocando inestabilidad en el flujo constructivo esperado. Actualmente muchas de las empresas constructoras enfocan sus criterios de control únicamente hacia el tema de costo, dejando descuidado muchas otras variables directas del proceso constructivo y que al fin provocan efectos negativos en el costo proyectado de la obra.

En los sistemas tradicionales el control de costos y la obtención de materiales más baratos representan el centro y el enfoque de la administración para reducir costo, dejando de lado muchas otras situaciones propias del proyecto, que pueden tener un peso financiero importante, en este caso sobre el presupuesto de la obra civil. (Koskela, 1992)

Los sistemas de control de costos tradicionalmente utilizado por las empresas constructoras consisten en una metodología que inicia con el desglose de las actividades que dan origen a la obra, cada una de estas actividades tiene un costo asociado, por concepto de los materiales necesarios para la elaboración de los elementos del sistema constructivo, así como también incluyen recursos necesarios para

procesar esos materiales y dar un producto acabado (mano de obra y maquinaria). Este proceso de conversión se define según el proceso input, y el proceso output, donde el elemento logrado y acabado es el output y la remuneración por este elemento es el input. (Koskela, 1992). Todos los proyectos de construcción están basados en el cumplimiento de los objetivos en un plazo determinado de entrega, bajo una calidad por alcanzar y limitados por un presupuesto.

Como técnica de control de tiempos de obra que el modelo tradicional utiliza es un cronograma de planificación de tiempos, generando una red de precedencia de actividades que identifica el tiempo total destinado para cada actividad específica, el cronograma generado comúnmente es extenso y los tiempos asignados para cada tarea no son representativos de la duración verdadera en obra. Además es usual que este cronograma de trabajo se vuelva obsoleto al cabo de poco tiempo, ya que las actividades no cumplen con el tiempo destinado para su ejecución, provocando que los periodos de trabajo se desfasen del plan inicial. Es así como el concepto de cronograma de proyecto se convierte en una formalidad de los proyectos, y no en una herramienta útil que tiene como objetivo el control de tiempo. La falta de información técnica como por ejemplo productividad y rendimientos reales de las tareas, pueden dar lugar a un cronograma falso en el cual los tiempos destinados para cada actividad no corresponden al tiempo verdaderamente necesario para la ejecución de las tareas.

Es comprensible que las empresas constructoras tiendan a dar prioridad al control de costos en los proyectos, ya que evidentemente este factor es el que mueve el flujo de material y mantiene el funcionamiento del proceso, el problema radica en el hecho de que como ya se ha planteado varias veces en este documento, los problemas asociados a la construcción envuelven la obra y afectan el presupuesto de la misma. Por ejemplo, si no se controla la calidad de los materiales, probablemente el propietario del inmueble no estará satisfecho y obligará a que se cambie el material lo cual implicaría doble gasto, por otro lado, si no se coordina y planifica el proceso, los errores constructivos serán constantes, y los arreglos correspondientes serán parte de los costos en los cuales la empresa va a tener que incurrir y que por supuesto no están contemplados en el presupuesto de la obra.

Las empresas constructoras en general tienen el concepto de que los efectos producto de errores constructivos, desperdicios varios y problemas de flujo no son significativos y representan un porcentaje de afectación pequeño respecto al coste de la obra. Esta suposición anterior, es bastante errónea, ya que, la suma de los efectos tales como: tiempos de espera, reparaciones, trabajos dobles (material desperdiciado, doble mano de obra), puede provocar un desequilibrio en el presupuesto destinado para un proyecto y comprometer las utilidades de la empresa, e inclusive colocar a la empresa en aprietos financieros.

Flavio Picchi (1993) en su tesis de investigación, sobre el desperdicio en la construcción, obtuvo resultados sorprendentes a cerca de los impactos en el costo total de la obra para un proyecto de construcción en Sao Paulo, Brasil. Para dicho proyecto Picchi identificó los desperdicios que tienen mayor impacto en el costo del proyecto e indicó el porcentaje de esa afectación. La siguiente figura muestra los resultados obtenidos en dicha investigación.

ESTIMADO DE DESPERDICIO EN OBRAS DE EDIFICACIONES		
(% del costo total de obra)		
ITEM	DESCRIPCION	%
Restos de material	Restos de mortero Restos de ladrillo Restos de madera Limpieza Retirada de material	5.0%
Espesores adicionales de mortero	Tarrajeo de techos Tarrajeo de paredes internas Tarrajeo de paredes externas Contrapisos	5.0%
Dosificaciones no optimizadas	Concreto Mortero de tarrajeo de techos Mortero de tarrajeo de paredes Mortero de contrapisos Mortero de revestimientos	2.0%
Reparaciones y re-trabajos no computados en el resto de materiales	Repintado Retoques Corrección de otros servicios	2.0%
Proyectos no optimizados	Arquitectura Estructuras Instalaciones sanitarias Instalaciones eléctricas	6.0%
Pérdidas de productividad debidas a problemas de calidad	Parada y operaciones adicionales por falta de calidad de los materiales y servicios anteriores.	3.5%
Costos debidos a atrasos	Pérdidas financieras por atrasos de las obras y costos adicionales de administración, equipos y multas.	1.5%
Costos en obras entregadas	Reparo de patologías ocurridas después de la entrega de obra.	5.0%
TOTAL		30.0%

Estimación de desperdicios en obra de edificación, Sao Paulo-Brasil.Picchi1993

Empresas con mucho tiempo de estar en el mercado de la construcción generalmente tienen ideologías conservadoras y muy rígidas para la administración de proyectos, por el hecho que fueron fundadas en un ambiente rígido, donde las técnicas de administración de procesos constructivos no estaban muy desarrolladas.

Actualmente si una empresa desea tener éxito debe considerar un cambio de mentalidad, donde se permita tener un control del flujo de proceso que optimice y agregue valor al producto final.

Origen Lean

En la actualidad la competencia entre empresas en el mercado, las exigencias de estándares de calidad y la necesidad acelerada de actualización tecnológica, teórica y técnica, para evitar quedar rezagados en un mercado cambiante como el actual han provocado que la evolución de los sectores de bienes y servicios hayan optado por normar la forma en que se desempeñan los procesos productivos en las empresas.

La administración empresarial debe procurar hacer un cambio en la forma de manejar los proyectos, en el sentido de volverse competitivos en un mercado que día con día

exige sistemas integrales que le permitan mantenerse dentro de los sectores cambiantes y por supuesto desarrollarse de forma balanceada y constante. Muchas empresas han identificado la necesidad de acoplar un esquema que les permita experimentar un cambio en la manera en que se están desarrollando los proyectos, independientemente si su dedicación es de carácter de bienes o de servicios. La preocupación de la gerencia se entrafia en la necesidad de alcanzar metas en las disciplinas que amerita un proyecto; entre las cuales se podrían mencionar: mejorar la calidad del producto, disminuir el tiempo de los procesos, garantizar la fluidez de las actividades, equilibrio ambiental, seguridad e higiene laboral, control eficiente del costo, y otros.

Empresas exitosas alrededor del mundo han solucionado esta problemática antes planteada aplicando una técnica multidisciplinaria que tiene la facultad de planificar, diseñar, ejecutar, administrar y controlar cada etapa del proyecto evitando que se desencadenen imprevistos, errores constructivos, falta de flujo, desperdicio de material, desperdicio de tiempo y otros.

La administración Lean o Lean management es una filosofía que ha tomado un protagonismo en la gestión empresarial dando como resultado estrategias que abarcan más que el simple control en planta, sino que el objetivo de esta filosofía se enfoca en muchas de las ramas del conocimiento administrativo. De este modo, la administración Lean tiene un protagonismo cada vez mayor en la gestión empresarial alrededor del mundo. (Cuatrecasas, 2002)

En este sentido la industria manufacturera ha sido pionera en procurar una mejora progresiva en los modelos de operación de sus plantas, dando como resultado, una evolución que puede considerarse su origen con la producción artesanal a finales del siglo XIX, siendo sustituida con el inicio la famosa producción en masa inspirada por Henry Ford a comienzos del siglo XX y que representó una producción poco controlada y con explotación desmedida de recursos materiales causando problemas en términos de materia prima. Actualmente la mayoría de las empresas de éxito utilizan la filosofía multidisciplinaria LEAN, que no pretende ser explosiva en la ejecución de obra, sino que busca tener un control de las situaciones que pueden provocar desequilibrio en los

procesos de un proyecto. Es así como los criterios Lean, se basan en la organización de procesos y no en funciones.

La filosofía Lean aparece y su éxito es respaldado por los resultados y evolución alcanzada por su empresa pionera (Toyota Motors), como ya se adelantó las bases de la filosofía Lean fueron inspiradas por técnicas utilizadas en Japón en los años cincuentas cuando la empresa automotriz Toyota desarrolló el sistema de producción de control total. Entre los criterios que este sistema pretendía corregir se pueden mencionar la eliminación de inventarios y los desperdicios producto de errores constructivos y falta de flujo productivo (Monden1983, Ohno 1988, Shingo 1988).

Base de la filosofía Lean

La filosofía Lean, ha tenido un desarrollo continuo y su evolución a sido creciente, hasta el punto de alcanzar la popularidad que tiene actualmente, Lean ha sido el resultado de la recopilación de una serie de técnicas de administración de procesos, que con el paso del tiempo se han ido perfeccionando. Las experiencias vividas en cada uno de los proyectos de construcción ha permitido como en todas las disciplinas técnicas mejorar su modo de operación, identificando los problemas asociados a cada tarea y elaborando esquemas y procedimientos que permitan disminuir eventuales problemas. En resumen la evolución de procedimientos sin importar la rama, podría considerarse como un proceso de prueba y error.

Los procedimientos en el sector construcción tradicionalmente se han desarrollado por la técnica de “aprender, haciendo” es decir el aprendizaje y el mejoramiento se logra ejecutando los trabajos y resolviendo los problemas de camino según se presenten. Esta situación genera experiencia para la empresa y permite que para proyectos futuros ya se tenga cierto conocimiento de hecho y se pueda responder de mejor manera ante los procesos. Lean de forma similar, pretende aprovechar esta experiencia adquirida, sumado a técnicas que permitan dar fluidez a los procesos y reducir cualquier desperdicio que no genere valor

agregado al producto final, y además busca planificar los procesos de tal forma que la ocurrencia de errores sea mínima.

La filosofía Lean aparece gracias a la evolución de las empresas industriales, donde la optimización de tiempos y reducción de desperdicio son indispensables para el crecimiento de la empresa como tal, la similitud en los procesos industriales y los procesos constructivos han permitido la aplicación de los conceptos Lean en el sector construcción. La idea principal de la administración Lean es crear líneas de producción donde se reduzcan los posibles errores e imprevistos que comprometen el flujo eficiente.

Conceptos y reglas Lean:

Los conceptos Lean o manufactura esbelta surgió de la compañía Toyota con el objetivo de sistematizar procesos, en busca de obtener menor cantidad de desperdicio y una competitividad igual o superior a las compañías automotrices en el mundo. Con el paso del tiempo, el sistema Lean logra sobrepasar las expectativas de producción y se convierte en el modelo a seguir. De este modo los principios Lean responden a una serie de técnicas en busca de reducir desperdicio y de garantizar un crecimiento empresarial competitivo en el mercado. (Villaseñor 2007, Galindo 2007)

Desperdicio

Lean manufacturing identifica 7 tipos de desperdicio, pero actualmente se habla de 8 desperdicios (Dennis, 2002)

Sobre producción:

- Producto que no se vendió.
- Producto que será vendido a un precio más bajo.
- Producto realizado antes de ser requerido.

Inventario:

- Producto terminado y almacenado.
- Producto almacenado entre fases del proceso.

Movimiento de materiales y transporte:

- Movimiento de material primas en el proceso de producción.

Productos defectuosos o retrabajados:

- Productos que se requieren volver a trabajar por tener defectos.

Movimientos:

- Procesos innecesarios entre pasos del proceso.

Proceso:

- Realización de pasos y movimientos innecesarios para la obtención del producto requerido por el cliente.

Esperas:

- Periodo de producción nula, en el cual el operador, la máquina, esperan algo para seguir trabajando.

Información:

- Falta o exceso de información; también corresponde al mal uso que se haga de ella.

En resumen Lean establece la necesidad de cumplir exactamente con los requerimientos del cliente o del producto a entrega con la cantidad mínima de recursos.

Eficiencia:

Existen 4 diferentes tipos de eficiencia en los procesos de producción, tales como eficiencia aparente, eficiencia verdadera, eficiencia total y eficiencia local. (Villaseñor 2007, Galindo 2007)

Eficiencia aparente contra eficiencia verdadera.

Si 5 personas producen 25 unidades diarias y se mejora el proceso para obtener una salida de 30 piezas por día, entonces existe una ganancia aparente del 20 %, sin embargo, esto es cierto solo si hay un incremento de 20 % en la demanda: si la demanda permanece igual a 25 unidades diarias el único camino para aumentar la eficiencia es producir las mismas 25 unidades con menos operadores (eficiencia verdadera).

Eficiencia total contra eficiencia local

Eficiencia total es la eficiencia de todo el proceso como uno solo y es importante tenerla como un medible. Eficiencia local es la eficiencia alcanzada en un solo punto y es importante tenerla como medible cuando sea una restricción.

Lograr la eficiencia de un proceso debe de ser una consecuencia de la implementación de muchas técnicas de Lean.

Se han definido 14 principios Lean en busca de reducir los desperdicios y garantizar la eficiencia de los procesos de producción:

Según Villaseñor 2007, Galindo 2007 los siguientes principios corresponden a la filosofía Lean:

Filosofía de largo plazo

1. Base sus decisiones administrativas y gerenciales en la filosofía de largo plazo, aún a expensas de las metas financieras de corto plazo.

El proceso correcto produce resultados correctos

2. Cree un proceso de flujo continuo para que los problemas salgan a la superficie.
3. Use un sistema de participación del trabajador, dotándolo con las necesidades (equipos y entrenamiento) que él mismo considere necesario para realizar su trabajo eficientemente y evitar desperdicio de sobreproducción.
4. Nivele la carga de trabajo.
5. Construya en su organización sistemas que detengan y resuelvan los problemas para fabricar productos de calidad a la primera.
6. Estandarice las tareas y capacite a su personal para mejorar el mejoramiento continuo.
7. Use control visual para que no se escondan los problemas.
8. Utilice equipos confiables; pruebe cuidadosamente la tecnología que sirve al proceso y a la gente.

Agregue valor a su organización desarrollando a su gente y los socios

9. Desarrolle líderes que entiendan detalladamente el trabajo, vivan esta filosofía y enseñen a los otros.
10. Desarrolle gente y equipos excepcionales que sigan la filosofía de la compañía.
11. Respete a sus socios y proveedores y ayúdelos a mejorar por medio de retos a alcanzar.

Continuamente resuelva los problemas de raíz y haga una organización que aprenda.

12. Ve a y observe cuidadosamente la situación por usted mismo.
13. Tome decisiones por consenso en forma lenta. Considere cuidadosamente todas las opciones, pero impleméntelas rápidamente.
14. Conviértase en una organización que aprende a través de una reflexión implacable y un mejoramiento continuo.

Técnicas administrativas usadas por Lean.

Según (Koskela, 1992). Lean funda sus raíces en una fusión de varias técnicas de administración de proyectos, de las cuales se destacan tres: Just in time (JIT) (junto a tiempo), Total Quality Control (TQC) y los principios de las 5's.

Justo a tiempo:

La filosofía Just in Time aparece en la industria de la ingeniería automotriz y fue fundada por la "Toyota car factorie" en los 1950's, el objetivo principal de esta técnica es la reducción de inventarios y la generación de un proceso de trabajo continuo (flujo continuo) donde los tiempos de llegada de material y procesamiento de los mismos son tan cerrados que los ciclos de producción únicamente producían lo necesario en el tiempo destinado, con la cantidad estimada, además con el menor desperdicio y mínimo tiempo de almacenaje en bodega.

La finalidad principal del sistema "JIT" es eliminar a través de un flujo planificado y controlado de proceso, los desperdicios que se producen y se mantienen muchas veces imperceptibles en los procesos constructivos. Para efectos de este documento, entiéndase "desperdicio" cualquier actividad que no agregue valor al producto final. Cabe destacar, que dichos

“desperdicios”, pueden significar en realidad representativas sumas de dinero que afectan la salud financiera y de crecimiento de la empresa. (Monden 1987)

El sistema “justo a tiempo”, por su origen también es conocido como “sistema Toyota” y es considerado un método favorable de producción continua y entre sus objetivos principales está alcanzar el máximo beneficio total de la producción. El “sistema Toyota”, se enfoca en la eliminación de costes extras a los dispuestos para un producto en específico, procurando una mejora continua que aumente la productividad. El sistema ataca estas dos variables reduciendo o eliminando los diversos desperdicios asociados al proceso, como por ejemplo el exceso de existencia de material o por el contrario materiales en espera de llegada, exceso de mano de obra, que implican una reducción en la productividad efectiva. En resumen, lo que se procura es generar un flujo inteligente donde los recursos lleguen en el momento exacto y en la cantidad exacta para evitar cualquier desperdicio.

Control de calidad total (TQC):

El sistema de control de calidad total es un proceso en el cual se pretende tener mediante métodos estadísticos una inspección continua de la calidad de materiales y de los métodos de producción usada. El término, “calidad total del método” se refiere a la revisión en tres campos (Shingo 1988): el primero corresponde a la globalización de los criterios de control de calidad a todos los apartamentos de la producción ya sea de un bien o de un servicio, en segundo lugar se busca dar a conocer a cada trabajador la importancia de la calidad y la obligación como empresa de aplicar los criterios de control de calidad y la calidad como tal, tanto en los materiales como en las prácticas de elaboración de los elementos por construir o fabricar. Y el tercer punto busca internarse en todos los sectores de la empresa que no fueron tocados en los primeros puntos de modo que se globalice el concepto, la importancia y el compromiso en todos los departamentos de la empresa, consiguiendo que el personal esté consciente de la importancia de la calidad total en cada una de las etapas de la producción de un bien o servicio, independientemente si sus tareas están

directamente ligadas al proceso de producción o no.

Las 5's

El método de las “5's”, llega a América como complemento del pensamiento Lean, movimiento que inicia en los años 90. Los objetivos de esta filosofía permite reducir la basura presente en cada proceso de operación, esta técnica puede ser aplicada tanto en campo como en oficina, la misma permite además optimizar la productividad de las operaciones al mejorar las condiciones del sitio de trabajo.

El método “5's”, fue desarrollado en Japón por la compañía automotriz Toyota, su nombre responde a los términos en japonés.

JAPONES	CASTELLANO
Seiri	Clasificación y Descarte.
Seiton	Organización.
Seiso	Limpieza.
Seiketsu	Higiene y Visualización.
Shitsuke	Disciplina y Compromiso.

Seiri: Clasificación y detección de los materiales, equipos y elementos externos que dificultan el desplazamiento en el sitio de trabajo y que son innecesarios para la ejecución de los procesos. Los elementos que sean necesarios se mantienen y todo el resto son eliminados, reciclados o devueltos.

Seiton: Se refiere a la simplificación de los medios para colocar todas las cosas en el lugar indicado, reduciendo así la pérdida de tiempo. Los elementos que se utilizan con más frecuencia se encuentran más cerca, mientras que los que se utilizan con menor frecuencia están más lejos.

Seiso: Sistema de limpieza continua en el área de trabajo, para recoger partes y materiales que están fuera de lugar y volverlo a colocar donde le corresponde.

Seiketsu: se refiere a la estandarización para mantener las áreas de trabajo organizada, limpia y ordenada. Los empleados deben comprometerse en el cuidado y mantenimiento de equipos, herramientas y el sitio de trabajo.

Shitsuke La autodisciplina significa seguir adelante con los acuerdos de la 5S y con una mentalidad de mejora continua. (The newsmagazine of mechanical contracting,2003)

Otros conceptos:

Si bien es cierto que la filosofía Lean responde a los criterios establecidos en las técnicas JIT, TQC y 5's, también existen otras técnicas propias de la metodología Lean y que han convertido estos principios en un arma de administración empresarial fuerte, de fácil aplicación en las empresas, de poco costo de inversión y cuyos resultados son más que excelentes en todas las áreas que esta técnica multidisciplinaria abarca.

Entre de las técnicas que se han venido desarrollando y que han dado lugar a la solidez de los principios Lean se pueden mencionar:

Mantenimiento productivo total:

El objetivo consiste en procurar un mantenimiento continuo y la necesidad de que los equipos y maquinarias necesarias para la ejecución de las tareas estén en perfectas condiciones, garantizando que se mantenga el flujo de un eficiente de trabajo. Se pretende evitar que se produzcan pérdidas de tiempo en espera de mantenimientos extensos de maquinaria. La idea plantea contar con las máquinas y herramientas en el momento necesario para realizar las tareas. Garantizar el buen estado de los equipos significa invertir en un aumento de la productividad. (Nakajima 1988)

Sistema pull

La gerencia empuja o el trabajador jala. Tradicionalmente las empresas vinculan su funcionamiento con un sistema rígido, ya que la mayoría fueron fundados bajo una mentalidad sumamente centralizado en la gerencia, donde las decisiones son tomas indistintamente del tema, popularmente la administración "empuja" al trabajador para hacer diferentes actividades, tales como recibir entrenamiento, lograr reconocimientos, realizar tareas de mejora o aplicar herramientas de manufactura, calidad o

cualquier otra. (Los directivos y gerentes empujan).

Actualmente el mercado exige un sector que permita un crecimiento integral, para que el proceso sea eficiente. Es esencial que cada uno de los protagonistas del proceso de producción o construcción esté identificado con sus deberes y propongan posibles soluciones a problemas que ellos mismos identifican durante el proceso (sistema "pull"). Este sistema permite que mediante la observación y la experiencia del trabajador el mismo "jale" los recursos, entrenamientos y técnicas de manufactura y calidad para lograr las metas acordadas, teniendo una motivación para generar ideas de reducción de costos, limpieza de sitio o cualquier otra sugerencia. La identificación rápida y oportuna permite realizar un cambio en el sistema de trabajo para solucionar los problemas que comprometen y reducen la productividad. (Villaseñor 2007, Galindo 2007)

La intervención de cada uno de los trabajadores genera motivación y da lugar al inicio de un círculo de calidad y mejora continua (Lillrank & Kano 1989), estos círculos de calidad causan una evolución de las técnicas aplicadas, reducen tiempo de ejecución, disminuyen costos, reducen errores, motivan a los trabajadores, en general reducen el desperdicio.

Benchmarking:

"Benchmarking", es un proceso que consiste en la aplicación de conceptos utilizados en algún sector de producción a otra disciplina en la cual tenga cierta similitud en sus procesos. Se refiere a la comparación de los métodos y procesos utilizados por sectores adyacentes con el objetivo de identificar los criterios que podrían aplicarse a otro sector en específico. En síntesis consiste en identificar y aplicar los criterios técnicos y administrativos de una técnica perfeccionada y utilizada para cierto sector de la producción y aplicarla en forma similar en una disciplina en específico (Camp 1989, Compton 1992).

Benchmarking es una estrategia empresarial que permite tomar puntos importantes, técnicas desarrolladas y utilizadas en campos específicos de la gestión empresarial, y el manejo de procesos productivos de una empresa en específico, para ser aplicados en una segunda empresa del mismo sector que la

primera o de un sector distinto en búsqueda de resultados positivos.

La construcción Lean, es uno de los ejemplos más claros de como el Benchmarking es una realidad. La construcción Lean, es una técnica novedosa y su sistema de operación se lo debe a los "Benchmark" que son las ideas desarrolladas por otros sectores de la producción y son aplicadas a los procesos de construcción, para mejorar su modo de operación, la productividad, el flujo de trabajo y la reducción de desperdicio.

(Camp 1989, Compton 1992).

Reingeniería:

Se refiere a una radical reconfiguración de los procesos tradicionales usados de la empresa en general. Desde el área administrativa pasando por todos los sectores inclusive por la gerencia, formando nuevos criterios en la forma de desempeñar las actividades y tareas de los procesos de producción. La técnica, requiere de un cambio total en la mentalidad de administración de los procesos, de modo que se dejen de lado las viejas y rígidas formas de realizar las tareas. Este sistema requiere que se rompa con la rutina y las reglas que se aplican actualmente y dar lugar una nueva forma de administración.

Requiere de un verdadero cambio, ya que, consiste en mover desde las bases de la empresa para identificar cuales son los potenciales problemas que se desarrollan y no permiten el crecimiento de la empresa. La reingeniería es un procedimiento donde se trata de mover toda la empresa para eliminar trabas y vicios que se encuentran ocultos entre las facetas de la empresa y no permiten el desarrollo de la misma.

Análisis 80-20 O Ley del menos representativo:

El análisis 80 – 20 es un sistema enfocado al control de inventarios, donde el objetivo principal es identificar los artículos que representan un mayor peso del lote total, midiendo su participación en costo. Los artículos seleccionados son aquellos cuyas valorizaciones constituyen porcentajes elevados dentro del valor del inventario total. El comportamiento usual es

de dichos inventarios responden a una distribución tal que aproximadamente el 20% del total de los artículos, representa el 80% del valor del inventario, mientras que el restante 80% del total de los artículos dentro del inventario solamente alcanzan el 20 % del valor total.

El análisis permite visualizar los artículos de mayor valor, optimizando así la administración de los recursos de inventario y permitiendo la toma de decisiones más eficientes.

Una vez clasificados los artículos según el costo, el método además, establece una clasificación (A,B,C) donde los artículos de clasificación A son los más importantes a los efectos del control, los artículos B son aquellos artículos de importancia secundaria y los artículos C los de importancia reducida. No hay un criterio fijo de asignación de las tres clases, el método es arbitrario.

Esta relación empírica formulada por Vilfredo Pareto, ha demostrado ser una herramienta muy útil y sencilla de aplicar en la gestión empresarial y control de costos. (Fucci, 1999)

Beneficios Lean:

La filosofía Lean, responde a muchos de los criterios de administración de empresas descritos anteriormente. Como se ha explicado exhaustivamente tiene su origen en técnicas utilizadas en la industria de producción industrial y manufacturera, pero ¿Cómo es posible aplicar la filosofía Lean a los procesos de construcción? En este punto es donde el Benchmarking toma protagonismo y la decisión al cambio de la administración toma un papel primordial. Los beneficios obtenidos por las empresas de los sectores de la producción industrial que han optado por este método son visibles y palpables suficiente es mencionar el éxito de la automotriz Toyota. El sector construcción por la experiencia vivida, proyecto tras proyecto se desarrolla con una productividad muy baja, con un riesgo durante el proceso de construcción alto (muchos factores aleatorios influyen en el proceso), el costo asociado a reparación de errores es muy elevado, la exigencia de calidad es muy estricta, el desperdicio de tiempo y material puede significar un gran coste y el desequilibrio de las líneas de producción es fácil de obtener, es por este motivo que la implementación de estos criterios resulta una posibilidad inteligente para la

gerencia de la empresa constructora, permitiendo a la empresa sacar ventaja en un mercado de mucha competencia.

La gerencia de las empresas constructoras deben de tomar en consideración que la aplicación de la filosofía Lean es una verdadera inversión que ha corto plazo puede brindar importantes resultados. Su objetivo principal es simplificar los métodos de ejecución de obras con el objetivo de reproducir un proceso sistemático, limitando al máximo las posibles variables que afecten el proyecto.

El objetivo de la transformación del proceso tradicional a los principios lean, se resumen en dos puntos esenciales, los cuales son:

En primer lugar, eliminar de los procesos las actividades que no aporten valor añadido (desperdicios), como por ejemplo: costos de almacenaje, reducción de espacio útil, traslado excesivo de material y mano de obra, pérdida de tiempo por escases de materiales, pérdida de productividad, excesivo tiempo muerto, retraso de tareas sucesoras, retraso general del tiempo programado para la obra, errores constructivos y otros.

En segundo lugar, introducir la flexibilidad necesaria para adaptar la producción a una demanda fluctuante. (Cuatrecasas, 1992)

“Uno de los logros más significativos en mantener bajo el precio de nuestros productos es la reducción gradual en el ciclo de producción. Entre más tiempo está un artículo en el proceso de manufactura y más se mueve, más alto será su costo final.”

Henry Ford, 1926

Los beneficios de la aplicación de la nueva filosofía Lean en términos de productividad, calidad, costo, tiempo y otros indicadores ya mencionados han sido lo suficientemente tangibles para asegurar que el método es efectivo. La juventud del método aplicado a los sectores de la construcción han sido poco estudiados por lo que no se tienen valores cuantitativos de los beneficios que aporta la implementación de este método, por otra parte en un estudio estadístico que abarca 400 plantas de fabricación sobre todo en EE.UU y Europa se encontró que de todas las técnicas posibles aplicables a la administración de los procesos de fabricación, solo las que se

relacionan con la nueva filosofía lean son demostrablemente eficaces (Schmanner 1988).

Además sin importar el sector al que se aplique el sistema, se pueden obtener beneficios como los siguientes: (Monden ,1983)

1. El sistema de producción Toyota elimina por completo los elementos innecesarios en la producción con el propósito de reducción de costes.
2. La idea básica es producir el tipo de unidades necesarias, en el tiempo necesario, y con el menor costo posible.

El sistema tiene tres sub-objetivos

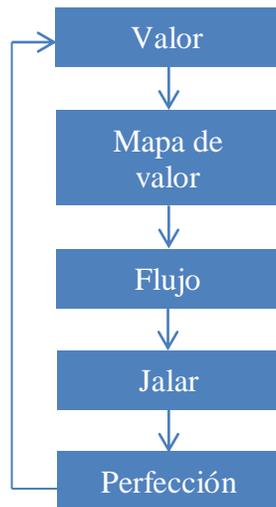
1. Control de la cantidad, lo que permite al sistema adaptarse a las fluctuaciones diarias y mensuales en términos de cantidades y variedad.
2. La garantía de calidad, que asegura que cada proceso se suministrará únicamente en las unidades buenas para evitar problemas con los procesos posteriores.
3. El respeto a la humanidad del trabajador, que debe ser cultivado, mientras que el sistema utiliza al ser humano para alcanzar sus objetivos de costos.

Lean thinking

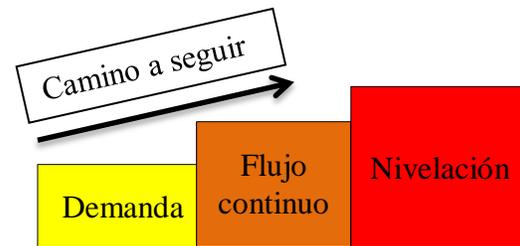
Según Womack y Jones (1996) para guiar a las empresas a la transformación de los sistemas tradicionales a una empresa Lean se deben:

1. Definir valor, por cada familia de productos, desde el inicio hasta el final.
2. Identificar todos los pasos del mapa de valores para cada familia de productos, eliminando los pasos que no agregan valor.
3. Hacer que los pasos que dan valor ocurran en una secuencia estricta para hacer que los productos y procesos fluyan en forma suave.
4. Introducir el flujo y dejar que el cliente jale el producto
5. Si el valor agregado es especificado, los pasos del proceso identificados, el desperdicio es minimizado, el flujo y el sistema pull son implementados: vuelve a

iniciar el proceso y continúa mejorando hasta alcanzar el estado de perfección.



Esquema de Lean thinking



Tres fases de la aplicación Lean.

Lean es una filosofía multidisciplinaria de ordenamiento de procesos cuya implementación a sido popularizada alrededor del mundo.

Para la implementación de Lean, es esencial agrupar los conceptos de lean en tres etapas:

1. Demanda.
2. Flujo.
3. Nivelación.

Demanda del cliente: Identificar la demanda del cliente para cada uno de los productos, incluyendo características de calidad, tiempo de entrega y precio. (Definición de alcance). Además en el caso del sector construcción las demandas inmediatas de la empresa serian todos los problemas asociados a los procesos que afectan el flujo de trabajo ocasionando perdidas.

Flujo: Implementación de flujo continuo en toda la planta, tanto para clientes internos como externos, los cuales deben de recibir el producto correcto, en el tiempo correcto y en la cantidad correcta.

Nivelación: Distribuir el trabajo equitativamente por volumen y variedad, reduciendo inventarios del producto terminado y en proceso, permitiendo poder trabajar en ordenes pequeñas para el cliente.

Metodología

El desarrollo de esta investigación tiene como objetivo desarrollar con base en el análisis del proceso de construcción del proyecto “Almacén de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia” (ESPH) un sistema Lean de manejo de obras de construcción. La idea principal fue plantar las bases de un sistema Lean de administración de obras de construcción, para que sea aplicado por la empresa AP constructora en proyectos futuros.

Para el desarrollo de este sistema se tomó como referencia la teoría de aplicación de los principios Lean de manufactura, evidentemente estos principios fueron analizados y moldeados de modo que pudieran resultar eficiente su aplicación en las obras de construcción, de este modo el procedimiento de investigación seguido fue el siguiente:

Primera etapa (Demanda): Corresponde según lo establecido en la teoría de implementación de los procesos Lean (ver sección “Lean thinking” del marco teórico) a la etapa de “**demanda**”, evidentemente el enfoque de dicha demanda no fue en el sentido en que lo consideran las fabricas de manufactura, sino que para efectos de esta investigación la demanda en el sector construcción se identifica como todas aquellas actividades que afectan actualmente a la empresa constructora y el proceso de ejecución de obras. Es decir, la demanda de la empresa se fundamenta en la necesidad de optimizar los procesos para garantizar un proceso eficiente desde el punto de vista Lean. Entonces una vez identificados los problemas de flujo presentes en la empresa AP constructora y el proyecto ESPH en específico, se procede con un análisis de los mismos, que permite identificar los sectores y procesos que la compañía demanda mejorar para propiciar un flujo continuo y una reducción de desperdicio. En resumen esta etapa identificó todas las trabas que el sistema de construcción utilizado por la empresa AP constructora tiene actualmente y que no responden al comportamiento de administración Lean deseado.

Segunda etapa (flujo continuo): Fue básicamente de diagnóstico, y corresponde a la etapa de “**flujo continuo**”, esta etapa tuvo su enfoque en analizar el comportamiento del factor costo, el factor tiempo y alcance de la obra en cuestión. El estudio de estos factores antes mencionados permitió identificar las actividades verdaderamente críticas del proyecto ESPH, para un eventual diseño de flujo continuo, la idea del proyecto fue definir una línea principal de actividades y flujos del proyecto en estudio, enfocado no solamente en el costo sino que corresponda a una ruta crítica simultáneamente de costo y tiempo, esto evidentemente con el objetivo de tener un mejor control de los procesos y evitar desperdicios, según los establecen los principios Lean.

Tercera Etapa (nivelación): Esta etapa responde a el desarrollo de herramientas basadas en los principios Lean de reducción del desperdicio y de eficiencia de los procesos, y además a la discusión y proposición de técnicas y procesos que permitan mejorar la productividad, reducir el desperdicio y mantener un flujo continuo de trabajo. Como lo establece la tercera etapa de aplicación de los principios Lean esta tercera y ultima etapa de la investigación pretenden garantizar una “**Nivelación**” de los procesos, en decir que con las herramientas y demás sugerencias basadas en los principios Lean se pretende dar fluidez a la construcción e identificar los desperdicios que se presentan actualmente en la empresa AP constructora, para eliminarlos y crear un ciclo de aprendizaje y de mejora continua. Esta mejora continua correspondería a la “nivelación” o aprendizaje de los errores presentes en cada proceso para mitigarlo hasta alcanzar la perfección de los procesos constructivos.

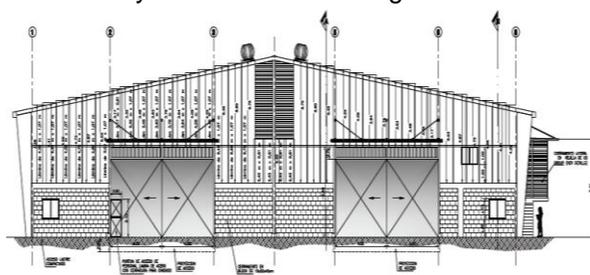
Descripción del proyecto

El proyecto base de la investigación fue la construcción del almacén ESPH, propiedad de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, el proyecto fue desarrollado por la empresa AP Constructora, de Cartago.

El periodo de construcción inició el 12 de diciembre del 2011, y se esperaba 130 días naturales para la ejecución del almacén, el mismo está ubicado en San Rafael de Heredia y consiste en una sola nave que se usará para la colocación

de equipo y materiales propiedad de la Empresa de Servicios Públicos. El edificio tiene un área aproximada de 1500 m² y una altura de 11 m, medida desde el nivel de piso terminado. La parte inferior de las paredes del almacén son en mampostería de bloques de concreto de 15 cm x 20 cm x 40 cm hasta una altura aproximada de 3,75m (medido desde la parte superior de placa de asiento de la pared), es importante destacar que el acabado de la pared de mampostería es de bloques sisados. La estructura metálica consiste en un sistema de marcos de acero tipo W y de sección variable. Las columnas están soportadas en pedestales de concreto con placas y anclajes en "U", la estructura de techo se soporta directamente sobre el marco de acero descrito anteriormente, el techo es de dos aguas y la cubierta en lámina rectangular con su respectiva hojalatería. El cerramiento lateral restante de las paredes es de lámina de hierro galvanizado rectangular esmaltada. Tanto el cerramiento lateral con lámina metálica como la cubierta tendrán aislante térmico y acústico de polietileno. En el costado oeste de la nave se construyó un mezanine (destinado para oficinas) a lo largo del almacén, el entrepiso correspondiente se construyó con el sistema de viga-block. Las divisiones de las oficinas del mezanine serán paredes livianas de fibrocemento.

Otras de las obras del proyecto, incluyen sistemas de aguas potables, incendio, pluviales y aguas negras. Además de obras exteriores tales como una caseta para el guarda, una caseta de máquinas, un tanque de agua potable, sistema de extracción y dos andenes de carga.



Fachada principal Almacén ESPH

Primera etapa demanda: Análisis de restricciones de flujo

El proyecto ESPH se tomó como referencia o "modelo" para la identificación de problemas que usualmente se repiten en la construcción y que complican los fines del proyecto.

Mediante la revisión de los principios y publicaciones desarrolladas por el Instituto LEAN de la construcción, publicaciones varias, documentos afines y además de los conceptos estudiados en el curso Diseño de Procesos Constructivos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, se establecieron las bases teóricas de la investigación, identificando puntos esenciales, estrategias y metodologías correspondientes a la filosofía Lean, además estos criterios se tomarán en cuenta para elaborar las herramientas de análisis, una vez identificados y diagnosticados los problemas de flujo de trabajo.

Mediante métodos de observación en obra y teniendo en cuenta los criterios que la filosofía Lean abarca, se identificaron los problemas más representativos de la construcción en estudio. Lean es una disciplina multidisciplinaria que abarca una gran gama de temas, pero para efectos de esta investigación su enfoque está destinado a tres áreas específicamente las cuales fueron: el costo, el tiempo y el alcance de la obra, de este modo, los conflictos hallados responden a un efecto directo sobre estas tres áreas anteriores (desperdicio).

El proceso de análisis de las metodologías utilizadas, como ya se mencionó se realizó mediante la observación del desempeño de la obra durante el periodo de construcción, además la identificación de los conflictos también se basó en la experiencia y los puntos de vista de los encargados de obra (ingenieros, maestro de obras y trabajadores en general), los cuales mediante entrevistas (ver apéndice 5) y análisis que identificaron muchos factores que impiden el flujo continuo de procesos. Estos problemas identificados son considerados como las demandas que la empresa constructora requiere resolver para mejorar su eficiencia y reducir los desperdicios.

Segunda etapa: Flujo continuo

A partir de los problemas identificados durante el proceso constructivo y que representan puntos débiles comunes de la empresa, se realizó un análisis cualitativo de las causas y los efectos que provocan estas dificultades, este detalle de la problemática presente en el flujo del proyecto permite realizar un análisis enfocado en dos criterios esenciales: costo y tiempo. El análisis de costo se realizó mediante el método de "Pareto" o análisis 80-20, este estudio consiste en seleccionar el 20% de las actividades que representan el 80% del costo total del proyecto. Mientras que por parte del análisis de tiempo se realizó la programación en Msproject 2010 del cronograma general de trabajo, donde se toma como referencia las actividades críticas respecto al tiempo, es decir las que se encuentran dentro de la "ruta crítica" del diagrama de Gantt programado.

Una vez identificadas las actividades críticas en términos de costo y tiempo, se compararon y seleccionaron las actividades que se encontraban dentro de estas dos clasificaciones al mismo tiempo, de este modo se tomaron 8 actividades como referencia de la investigación, dichas actividades representan un peso del 31% del costo del proyecto, la razón de usar únicamente estas 8 actividades y no la totalidad de las 20 de mayor peso (según el análisis 80-20) fue debido a que muchas de las actividades de gran peso del proyecto correspondían a la instalación de equipos de incendios y sistemas de bombas, con un costo muy elevado, y que no corresponden a un proceso constructivo como tal. La idea de la investigación fue enfocarse en el análisis de actividades comunes de la construcción y que se repiten en la mayoría de las obras, de modo que el ejercicio pueda ser comparable con otros proyectos similares.

Para confirmar los problemas de flujo continuo de trabajo del proyecto (identificados en la primera etapa análisis de restricciones de flujo) se midió la productividad de las ocho actividades críticas mencionadas en el párrafo anterior, mediante los métodos Crew Balance, Five Minutes Rating y Work Sampling. Para la aplicación de estos tres métodos de medida de

productividad se desglosaron las actividades en sus tareas correspondientes.

Conscientes de la necesidad de flujo continuo de materiales se desarrollaron plantillas de respuesta de proveeduría y llegada de materiales a la obra, la misma permite comparar la fecha del pedido de materiales, el tiempo esperado de llegada a la obra y el tiempo real de llegada, esta herramienta de respuesta de materiales además forma parte de las herramientas diseñadas para la aplicación en proyectos futuros.

También se incluye una herramienta de diseño de sitio, donde se pueda planificar de forma sencilla y rápida la distribución de las áreas de la obra para evitar, desperdicio varios como por ejemplo: acarreo largos de material, problemas de movilización, acumulación excesiva de material, entre otros, la plantilla cuenta con una simbología previa de las posibles obras que se deben de considerar en el proyecto.

En la investigación se identificaron problemas con el ordenamiento de los procesos constructivos, así los muestran las plantillas Five Minutes Rating. Para reducir este efecto y aumentar la efectividad de los procesos se diseñaron plantillas de flujos de tareas donde se programan los recursos e insumos necesarios en cada tarea y garantizando un ritmo y secuencia lógico de trabajo.

Para mejorar el control de los tiempos de la obra se propone un plan de programación de actividades tres semanas, dicho plan adicionalmente cuenta con una plantilla de seguimiento de avance y seguimiento de trabajo de los contratistas, es decir, cuenta con una sección de asignación de responsabilidades.

Además se analizó el atraso de la obra con respecto a la fecha de entrega del proyecto y el efecto en el costo sobre el presupuesto de la obra que provocan dichos atrasos y desperdicios.

Tercera etapa: Nivelación

Considerando los aspectos analizados anteriormente se diseñaron herramientas y se proponen procedimientos inspirados en los criterios de líneas de producción utilizadas por la industria manufacturera. Esta etapa considera llevar un seguimiento y cumplimiento de los procesos, procurando crear un proceso de

aprendizaje y mejora continua, hasta alcanzar la perfección de los procesos.

Según lo indicado anteriormente se desarrolló una plantilla “estadística”, dicha plantilla arroja los resultados de productividad esperados por alcanzar para cada actividad establecida en el plan tres semanas contra la productividad verdaderamente alcanzada en obra, (esto para las tres semanas programadas) estos valores permitirán hacer correcciones en el proceso hasta alcanzar un equilibrio entre la productividad esperada y la productividad alcanzada.

En resumen se proponen herramientas de uso sencillo, evitando formularios excesivos y extensos que al fin se vuelven difíciles de manejar, llenar e interpretar.

El enfoque de las herramientas sigue el siguiente esquema: planificación de las actividades y tareas, luego programación de tiempos y por último control, monitoreo y mejora continua.

De este modo se sugirió para identificar la “**Demanda**” de la empresa:

- Tabla de identificación de problemas constructivos presentes en la construcción del almacén ESPH.
- Plantillas de identificación de actividades críticas según costo (análisis de costo 80-20).
- Análisis de ruta crítica según cronograma de proyecto.
-
- Plan general del proyecto y cronograma de actividades.
- Definición de ruta crítica costo tiempo según plantillas anteriores.

Segunda etapa o etapa de “Flujo continuo”:

- Plantilla de diseño de sitio (distribución de área de trabajo y materiales).
- Plantilla de diseño de flujos de tareas donde se programen los recursos e insumos necesarios en cada tarea.
- Plan de programación de actividades tres semanas.
- Plantilla de asignación de responsabilidades y seguimiento de contratistas, según plan tres semanas.

- Reuniones semanales de planeación y seguimiento.
- Plantillas de planificación de flujo de actividades críticas del proyecto (ruta crítica costo – tiempo).

Tercera etapa o etapa de “Nivelación”:

- Plantilla de estadística de rendimiento semanal, basado en el seguimiento del plan tres semanas.
- Plantilla de contabilidad de costos asociados a problemas de flujo y desperdicio.
- Aplicación de las técnicas de la filosofía 5”s en la distribución y manejo del sitio.

En resumen el ciclo seguido para la investigación fue el siguiente:



Resultados

Análisis de restricciones de flujo (demandas)

El proceso de construcción del almacén ESPH (Empresa de Servicios Públicos de Heredia), tuvo muchos problemas de flujo de trabajo (demandas que deben resolverse como primera etapa de

aplicación de los principios Lean a la empresa) y dificultades en los procesos, poniendo en riesgo el buen fin del proyecto. A continuación el cuadro 1 muestra dichos problemas:

CUADRO 1. PROBLEMAS DE FLUIDÉS DE PROCESOS IDENTIFICADOS EN EL ALMACÉN ESPH. (DEMANDAS DE CAMBIO)		
CAUSAS DE PÉRDIDA	DESCRIPCIÓN GENERAL	PROBLEMA ASOCIADO
Falta de Planificación y diseño de sitio:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Problemas de planificación de flujo de tareas para cada actividad con respecto al tiempo. 2. Falta de coordinación de la llegada oportuna de material a la obra. 3. Problemas asociados a la dificultad de transporte de materiales y desorden en el lugar de trabajo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tiempo de Mano de Obra. 2. Reducción de productividad y trabajo efectivo (aumenta costo) actividad. 3. Aumento de costo y tiempo.
Problemas de control de calidad y control de tiempos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de revisión del material entrante al proyecto. 2. Falta de instrucciones claras a los trabajadores, se duplican tareas y se cae en errores. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida de Materiales y tiempo de Mano de Obra en trabajos dobles. 2. Desperdicio de materiales. (doble gasto de material y planilla)
Dificultad de Organización y asignación de responsabilidades	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se aclara de manera oportuna las obligaciones y limitaciones de cada uno de los encargados de la obra, Ingeniero, maestro de obras, administrador de proyecto. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida de fluidez de proceso y control de la obra.(tiempo)
Trabas por burocracia y falta de flexibilidad.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Por cuestiones de control de proceso y costos, las órdenes de compra y solicitudes del proyecto pasan por muchas manos antes de aprobarse. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida de tiempo de aprobación de solicitudes de materiales, equipos y permisos.

Ausencia de capacitación y escasez de mano de obra calificada.	1. Rotación de trabajadores reduce la productividad de las cuadrillas de trabajo.	1. Mano de obra poco capacitada, compromete el tiempo y la calidad del proyecto.
Problemas de desperdicio.	1. Desperdicio de material por errores constructivos (demoliciones). 2. Robo de material. 3. Daño de material.	1. Afecta en la productividad de los procesos y provoca el abandono de las tareas por parte de los trabajadores del proyecto, afectando directamente el tiempo de la obra.
Falta de información, metodología y procesos por emplear.	1. Problemas de información oportuna a los trabajadores y subcontratistas, de la metodología de trabajo, los tiempos de entrega de cada actividad, especificaciones técnicas y asignación de responsabilidades. 2. Desorden en la obra por discordancia entre los métodos usados y choque de cuadrillas.	1. Afecta el tiempo pretendido para realizar las actividades. 2. Genera problemas de pérdida de tiempo Mano de obra. 3. Reduce productividad por choques entre contratistas.
Problemas con el alcance y aprobación de materiales.	1. Los formularios de aprobación de materiales pueden provocar atrasos en el proyecto, si no se presentan con suficiente tiempo a la inspección o cliente. 2. Falta de planificación y definición del alcance exacto del proyecto.	1. Pérdida de tiempo de espera para el pedido de material aprobado por la inspección.
Manejo de caja chica.	1. Gasto del recurso de la obra en materiales grandes que podrían solicitarse directamente a proveeduría. 2. Falta de materiales menores en obra que podrían comprarse con dinero de caja chica.	1. Consumo acelerado del presupuesto de obra (caja chica). 2. Retraso de actividades por necesidad de materiales menores.
Lenta respuesta de proveeduría.	1. Problemas con la proveeduría de materiales, llegada tardía. 2. Materiales solicitados a proveeduría con poco tiempo de respuesta de esta última. 3. Problemas con la proveeduría de maquinaria, equipo sin mantenimiento, con poco combustible, tamaño de maquinaria no adecuada para la tarea que se debe realizar.	1. Pérdida de tiempo en espera de material. 2. Aprovechamiento parcial de los equipos por falta de combustible (aumentan costo). 3. Gasto de dinero en reparación de maquinaria, compra de piezas y repuestos, en lugar de dar mantenimiento oportuno.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Diagnóstico del proceso de construcción usado en el almacén ESPH.

Análisis de Pareto o análisis 80-20

Mediante una plantilla de análisis de Pareto o Análisis 80-20 se clasificaron las actividades que componen el proyecto, asignándole a cada actividad el porcentaje que este representa del costo total, posteriormente ordenando de mayor a

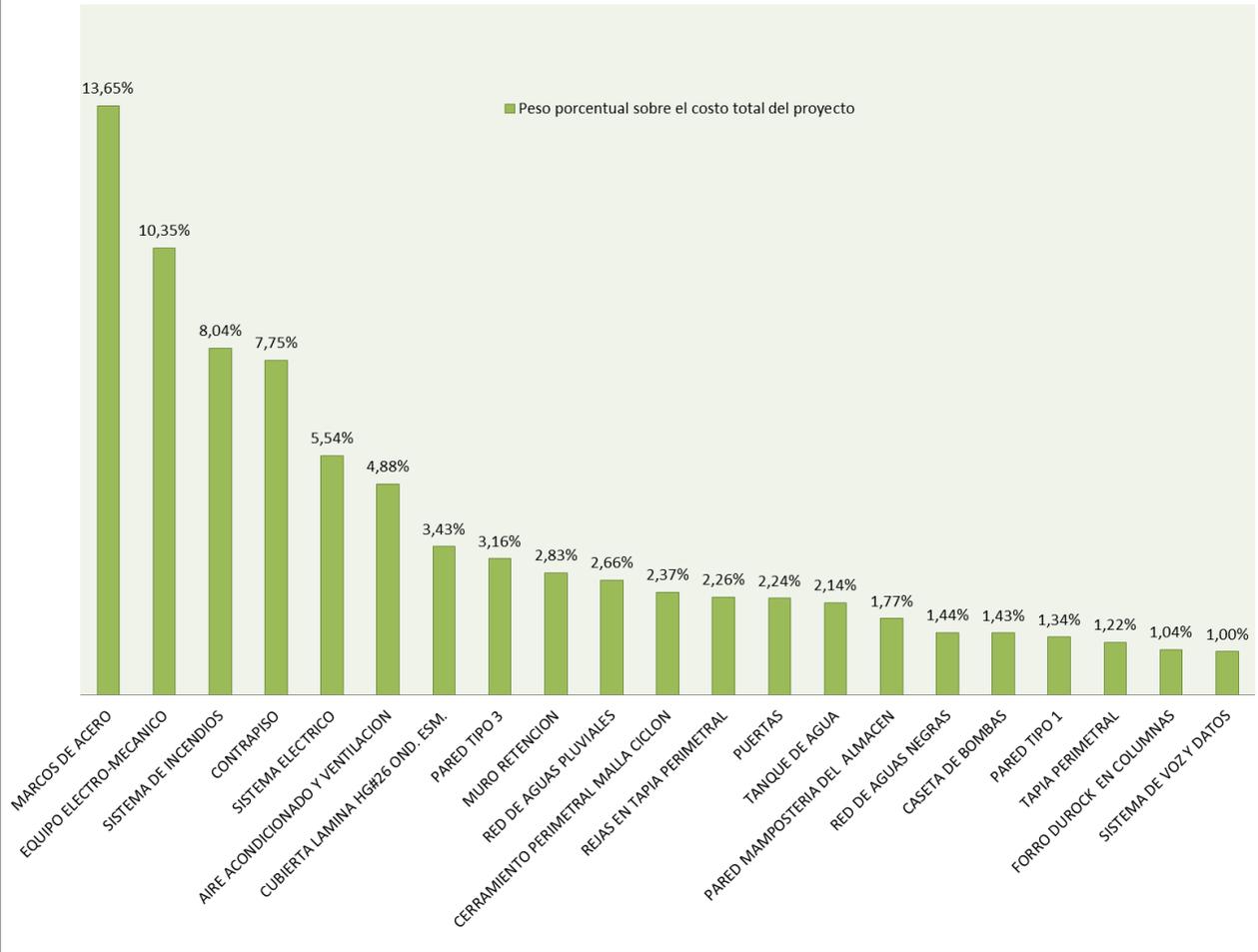
menor costo dichas actividades (mediantes filtros presentes en la herramienta) se pueden obtener las veinte actividades que reflejan el 80% del costo total del proyecto. A continuación se presentan estas actividades anteriormente mencionadas para el proyecto almacén ESPH

CUADRO 2. ANÁLISIS 80-20 ACTIVIDADES DEL PROYECTO ALMACÉN ESPH					
ACTIVIDAD	CANT.	UNID.	COSTO UNITARIO (\$)	% DE COSTO TOTAL	% COSTO ACUMULADO
MARCOS DE ACERO	1,0	GBL	\$132.404,68	13,6%	13,6%
EQUIPO ELECTRO-MECÁNICO	1,0	UND	\$100.418,97	10,4%	24,0%
SISTEMA DE INCENDIOS	1,0	GBL	\$77.946,72	8,0%	32,0%
CONTRAPISO	1556,3	M2	\$75.184,48	7,8%	39,8%
SISTEMA ELÉCTRICO	1,0	GBL	\$53.757,47	5,5%	45,3%
AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN	1,0	GBL	\$47.353,46	4,9%	50,2%
CUBIERTA LÁMINA HG#26 OND. ESM.	1499,4	M2	\$33.293,41	3,4%	53,6%
PARED TIPO 3	637,9	M2	\$30.608,43	3,2%	56,8%
MURO RETENCIÓN	33,0	M	\$27.428,89	2,8%	59,6%
RED DE AGUAS PLUVIALES	1,0	UND	\$25.803,58	2,7%	62,3%
CERRAMIENTO PERIMETRAL MALLA CICLÓN	242,0	M	\$23.029,71	2,4%	64,7%
REJAS EN TAPIA PERIMETRAL	186,0	M	\$21.933,05	2,3%	66,9%
PUERTAS	1,0	GBL	\$21.692,64	2,2%	69,2%
TANQUE DE AGUA	1,0	UND	\$20.710,62	2,1%	71,3%
PARED MAMPOSTERÍA DEL ALMACÉN	427,2	M2	\$17.130,99	1,8%	73,1%
RED DE AGUAS NEGRAS	1,0	GBL	\$13.976,95	1,4%	74,5%
CASETA DE BOMBAS	1,0	UND	\$13.840,70	1,4%	75,9%
PARED TIPO 1	194,5	M2	\$12.968,56	1,3%	77,3%
TAPIA PERIMETRAL	186,0	M	\$11.819,63	1,2%	78,5%
FORRO DUROCK EN COLUMNAS	261,3	M2	\$10.111,78	1,0%	79,5%
SISTEMA DE VOZ Y DATOS	1,0	GBL	\$9.676,37	1,0%	80,5%

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

La figura #1, presenta gráficamente los resultados del cuadro #2, clasificando las actividades del proyecto según su peso en costo.

FIGURA 1. ANÁLISIS 80 - 20 PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO ALMACÉN ESPH



Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Análisis de ruta crítica (tiempo):

La programación del proyecto permite identificar la ruta crítica con respecto al tiempo, así como la secuencia de actividades por seguir durante la ejecución del proyecto. En el cronograma del

proyecto realizado en el software Microsoft Project 2010 (ver apéndice 1) se identifican las actividades en ruta crítica para el proyecto ESPH, las mismas se presentan en el cuadro 3

CUADRO 3. ACTIVIDADES CORRESPONDIENTES A LA RUTA CRÍTICA SEGÚN TIEMPO DEL PROYECTO ALMACÉN ESPH.						
Actividad	Duración		Desde:		Hasta:	
TRABAJOS PRELIMINARES	6	días	lun	12/12/2011	sáb	17/12/2011
PLACAS DE FUNDACIÓN	14	días	dom	18/12/2011	sáb	31/12/2011
PAREDES DE BLOQUES	14	días	sáb	24/12/2011	vie	06/01/2012
COLUMNAS	24	días	lun	26/12/2011	mié	18/01/2012
MARCOS DE ACERO	20	días	sáb	07/01/2012	jue	26/01/2012
VIGAS ENTREPISO Y ENTREPISO	20	días	sáb	07/01/2012	jue	26/01/2012
CUBIERTA DE TECHOS Y HOJALATERÍA	14	días	vie	27/01/2012	jue	09/02/2012
PAREDES LIVIANAS Y CIELOS	28	días	vie	03/02/2012	jue	01/03/2012
PINTURA	23	días	vie	02/03/2012	sáb	24/03/2012
SEÑALIZACIÓN INTERNA Y REJILLAS CS	7	días	vie	16/03/2012	jue	22/03/2012
LIMPIEZA FINAL	3	días	vie	23/03/2012	dom	25/03/2012

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Ruta crítica costo - tiempo:

De los análisis de costos (80-20) y análisis de tiempo (ruta crítica) anteriores se identifican las actividades que son críticas tanto en tiempo como en costo, dichas actividades son las siguientes

CUADRO 4. ACTIVIDADES CRÍTICAS EN TIEMPO Y COSTO DEL PROYECTO ALMACÉN ESPH					
ID	Nombre de tarea	Duración días hábiles	Comienzo	Fin	% sobre costo
	CONSTRUCCIÓN ALMACÉN E.S.P.H	105	12/12/11	25/03/12	
1	TRABAJOS PRELIMINARES	6	12/12/11	17/12/11	1,0%
2	PLACAS DE FUNDACIÓN	14	18/12/11	31/12/11	2,1%
3	PAREDES DE BLOQUES	14	24/12/11	06/01/12	1,8%
4	COLUMNAS	24	26/12/11	18/01/12	1,1%
5	MARCOS DE ACERO	20	07/01/12	26/01/12	13,7%
6	VIGAS ENTREPISO Y ENTREPISO	20	07/01/12	26/01/12	0,6%
7	CONTRAPISO	7	03/02/12	09/02/12	7,8%
8	CUBIERTA DE TECHOS Y HOJALATERÍA	14	27/01/12	09/02/12	3,4%
				TOTAL	31,4%

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Productividad de actividades críticas:

Esta serie de problemas que se identificaron durante la construcción del almacén ESPH evidentemente afectan la productividad de los procesos y del flujo continuo de actividades. En este caso el cuadro 6, muestra la productividad efectiva en la construcción de paredes de mampostería del almacén ESPH, según la

técnica de medida de productividad Work Sampling. Este mismo esquema de medida de productividad se realizó para todas las actividades críticas en tiempo y costo, definidas en el cuadro 4. (Ver apéndice 2)

CUADRO 6. MEDIDA DE PRODUCTIVIDAD DE PEGA DE BLOQUES DE CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL ALMACÉN ESPH MÉTODO WORK SAMPLING				
PROYECTO:	ALMACÉN ESPH			
FECHA:	02/02/2012			
HORA INICIO:	07:50:00 a.m.			
ACTIVIDAD POR EVALUAR:	PAREDES LATERALES SISADAS			
TAREA POR EVALUAR:	PEGA DE BLOQUES 15 X20 X40			
NÚMERO DE OBSERVACION	NÚMERO DE TRABAJADORES OBSERVADOS	NÚMERO DE TRABAJADORES LABORANDO	NÚMERO DE TRABAJADORES NO LABORANDO	OBSERVACIONES GENERALES
1	3	3	0	Todos trabajando
2	3	3	0	Todos trabajando
3	3	3	0	Todos trabajando
4	3	2	1	trabajador no laborando
5	3	1	2	trabajador no laborando
6	3	3	0	Todos trabajando
7	3	1	2	trabajador no laborando
8	3	3	0	Todos trabajando
9	3	0	3	trabajador no laborando
10	3	2	1	trabajador no trabajando
11	3	2	1	trabajador no trabajando
12	3	2	1	trabajador no laborando
13	3	3	0	Todos trabajando
14	3	2	1	trabajador no

				laborando
15	3	0	3	trabajador no laborando
16	3	2	1	trabajador no laborando
17	3	2	1	trabajador no laborando
18	3	3	0	Todos trabajando
19	3	3	0	Todos trabajando
20	3	2	1	trabajador no laborando
21	3	1	2	trabajador no trabajando
22	3	3	0	Todos trabajando
23	3	1	2	trabajador no laborando
24	3	2	1	trabajador no trabajando
25	3	2	1	trabajador no laborando
26	3	2	1	trabajador no laborando
27	3	2	1	trabajador no trabajando
28	3	2	1	trabajador no trabajando
29	3	2	1	trabajador no laborando
30	3	1	2	trabajador no trabajando
31	3	2	1	trabajador no laborando
32	3	3	0	Todos trabajando
33	3	2	1	trabajador no laborando
34	3	2	1	trabajador no trabajando
35	3	3	0	Todos trabajando
36	3	3	0	Todos trabajando
Σ=	108	75	33	
%productividad de la tarea =		69%		

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

El cuadro 7, muestra la productividad efectiva en la construcción de paredes de mampostería del almacén ESPH, según la técnica de medida de productividad Five Minutes Rating. Este mismo

esquema de medida de productividad se realizó para todas las actividades críticas en tiempo y costo, definidas en el cuadro 4. (Ver apéndice 2)

CUADRO 7. MEDIDA DE PRODUCTIVIDAD DE PEGA DE BLOQUES DE CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL ALMACÉN ESPH,MÉTODO FIVE MINUTES RATING					
PROYECTO:	ALMACÉN ESPH				
FECHA:	02/12/2012				
HORA INICIO:	07:50:00 a.m.				
ACTIVIDAD POR EVALUAR:	PAREDES LATERALES.				
TAREA POR EVALUAR:	PEGA DE BLOQUES 15 X20 X40				
HORA DE OBSERVACIÓN	Albañil	Ayudante 1	Ayudante 2	NÚMERO DE HOMBRES TRABAJANDO	NÚMERO DE HOMBRES NO TRABAJANDO
07:50:00 a.m.	Pegando bloques	Descargando bloques	Descargando bloques	3	0
07:55:00 a.m.	Llenado de sisas	Descargando bloques	Descargando bloques	3	0
08:00:00 a.m.	Pegando bloques	Fabrica mortero de pega	Carga bloques	3	0
08:05:00 a.m.	Pegando bloques	Selecciona y acerca bloques	Espera para cargar bloques	2	1
08:10:00 a.m.	Fumando	Cortando Bloques	Espera para cargar bloques	1	2
08:15:00 a.m.	Llenado de sisas	Carga bloques	Carga bloques	3	0
08:20:00 a.m.	Verifica niveles	Espera para descargar	Espera para descargar	1	2
08:25:00 a.m.	Ausente	Cortando Bloques	Descargando bloques	2	1
08:30:00 a.m.	Recibe indicaciones	Espera	Espera	0	3
08:35:00 a.m.	Verifica niveles	Selecciona y acerca bloques	Espera	2	1
08:40:00 a.m.	Pegando bloques	Cortando Bloques	Ausente	2	1
08:45:00 a.m.	Pegando bloques	transporta mortero	Busca Herramienta	2	1
08:50:00 a.m.	Recibe indicaciones	Recibe indicaciones	Recibe indicaciones	0	3
08:55:00 a.m.	Pegando bloques	Selecciona y acerca bloques	Ausente	2	1

09:00:00 a.m.	Esperando	Esperando	Ausente	0	3
09:20:00 a.m.	Pegando bloques	ausente	Prepara mortero	2	1
09:25:00 a.m.	Ausente	Cortando Bloques	Transporta mortero	2	1
09:30:00 a.m.	Pegando bloques	Selecciona y acerca bloques	Transporta mortero	3	0
09:35:00 a.m.	Verifica niveles	Rellena celdas	Rellena celdas	3	0
09:40:00 a.m.	Esperando	Rellena celdas	Rellena celdas	2	1
09:45:00 a.m.	Verifica medidas	Espera	Espera	1	2
09:50:00 a.m.	Coloca acero de refuerzo	Coloca acero refuerzo	Prepara mortero	1	2
09:55:00 a.m.	Verifica niveles	Espera	Espera	1	2
10:00:00 a.m.	Esperando	Rellenas celdas	Rellena celdas	2	1
10:05:00 a.m.	Amara acero	Amara acero	Ausente	2	1
10:10:00 a.m.	Coloca bloques	Prepara mortero	Espera	2	1
10:15:00 a.m.	Coloca bloques	Selecciona y acerca bloques	Espera ordenes	2	1
10:20:00 a.m.	Rellena sisas	Espera	Corta alambres	2	1
10:25:00 a.m.	Pegando bloques	Ausente	Corta alambres	2	1
10:30:00 a.m.	Pegando bloques	Esperando	Llamando por teléfono	1	2
10:35:00 a.m.	Pegando bloques	Sisando bloques	Ausente	2	1
10:40:00 a.m.	Pegando bloques	Sisando bloques	Cortando varillas	3	0
10:45:00 a.m.	Pegando bloques	Hablando	Cortando varillas	2	1
10:50:00 a.m.	Rellena sisas	Ausente	Cortando varillas	2	1
10:55:00 a.m.	Pegando bloques	Selecciona y corta bloques	Prepara mortero	2	1
11:00:00 a.m.	Pegando bloques	Selecciona y corta bloques	Prepara mortero	3	0
$\Sigma=$				68	40
%productividad de la tarea=					63%

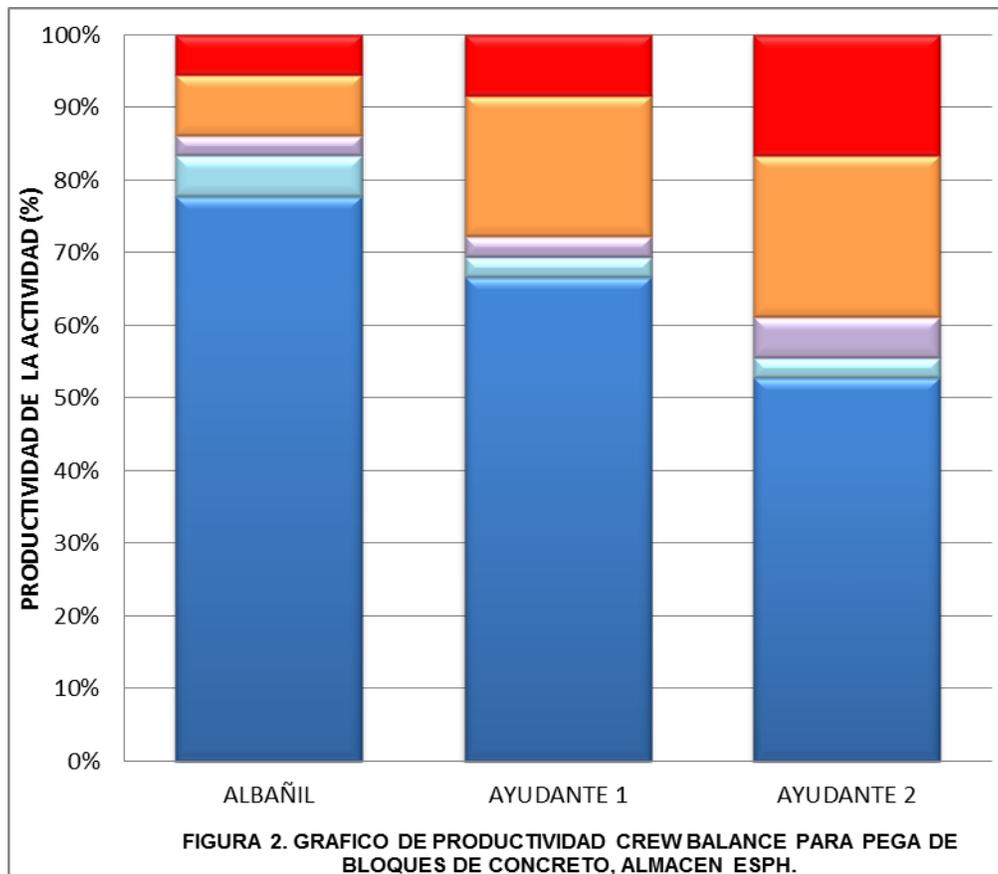
Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

El cuadro 8 y la figura 2, muestran los resultados del análisis de productividad según el método Crew Balance, en la construcción de paredes de mampostería del almacén ESPH. Este mismo

esquema de medida de productividad se realizó para todas las actividades críticas en tiempo y costo, definidas en el cuadro 4. (Ver apéndice 2)

CUADRO 8. PRODUCTIVIDAD DE PEGA DE BLOQUES DE CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL ALMACÉN ESPH,CREW BALANCE			
ACTIVIDAD	ALBAÑIL	AYUDANTE 1	AYUDANTE 2
A:Trabajando	28,00	24,00	19,00
B: Recibe indicaciones	2,00	1,00	1,00
C: Otras actividades	1,00	1,00	2,00
D:Esperando	3,00	7,00	8,00
E:Ausente	2,00	3,00	6,00
Total	36,00	36,00	36,00
% eficiencia	77,78%	66,67%	52,78%

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010



Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Respuesta de proveeduría de materiales al proyecto.

La respuesta de materiales es esencial para garantizar un flujo efectivo de trabajo. Los insumos deben de programarse para que lleguen al sitio de la obra en el tiempo indicado para su uso. El cuadro 5 presenta el comportamiento o respuesta de proveeduría respecto al flujo de materiales durante etapas primeras del proyecto ESPH.

CUADRO 9. TABLA DE ANÁLISIS DE TIEMPO DE RESPUESTA DE PROVEEDURÍA DE MATERIAL AL PROYECTO.									
Material	Solicitud de material Ingeniero Residente				Tiempo esperado de llegada de material		Llegada de material al proyecto		
	Cantidad	Unid	# boleta de solicitud	Fecha de pedido	Tiempo esperado llegada material (días)	Fecha esperada de llegada	Cantidad entrada	# factura	Fecha de llegada
Alfajillas 2" x4" x 4 varas	100	unid	19029	09/01/2012	4	13/01/2012	100	365	10/01/2012
Alfajilla 3" x 2" X 4 varas	30	unid	19009	12/12/2011	4	16/12/2011	30	367	10/01/2012
Tablas formaleta 1" x 12" x 4 varas	50	unid	19035	17/01/2012	4	21/01/2012	50	405	18/01/2012
Alfajilla 3" x 2" X 4 varas	30	unid	19025	04/01/2012	4	08/01/2012	30	437	26/01/2012
Candados 2"	7	unid	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	7	927	12/12/2011
Cemento	20	sacos	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	20	927	12/12/2011
Codo pvc 12mm	10	unid	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	10	927	12/12/2011
Cuerdas	10	rollo	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	10	927	12/12/2011
Hoja de segueta	20	unid	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	20	927	12/12/2011
Marcos de segueta	2	unid	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	2	927	12/12/2011
Llave de chorro 12 mm	4	unid	19004	01/12/2011	4	05/12/2011	4	927	12/12/2011
Llave de paso tipo bola 12 mm	4	unid	19004	01/12/2011	4	05/12/2011	4	927	12/12/2011
Cal	5	sacos	19005	01/12/2011	4	05/12/2011	5	927	12/12/2011
Cemento	80	sacos	19014	14/12/2011	4	18/12/2011	80	927	12/12/2011
Disco diamantado para metal 4 1/2"	5	unid	19006	02/01/2012	4	06/01/2012	5	927	12/12/2011
Brocas para concreto	1	juego	19005	01/12/2011	4	05/12/2011	1	928	12/12/2011
Brocas para madera	1	juego	19005	01/12/2011	4	05/12/2011	1	928	12/12/2011
Disco diamantado para metal 9"	10	unid	19006	02/01/2012	4	06/01/2012	10	928	12/12/2011
Manguera de nivel	2	unid	19004	01/12/2011	4	05/12/2011	2	929	12/12/2011

Clavo de techo con arandela	10	kg	19002	01/12/2011	4	05/12/2011	10	930	12/12/2011
Clavos 3"	1	cajas	19002	01/12/2011	4	05/12/2011	1	930	12/12/2011
Clavos 4"	10	kg	19002	01/12/2011	4	05/12/2011	10	930	12/12/2011
Clavos 1 1/2"	1	cajas	19002	01/12/2011	4	05/12/2011	1	930	12/12/2011
Láminas Zinc 183 x 81 cm	200	unid	19002	01/12/2011	4	05/12/2011	135	930	12/12/2011
Carretillos	7	unid	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	7	930	12/12/2011
Mazo 6 libras	3	unid	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	3	930	12/12/2011
Disco diamantado para concreto 1/2"	2	unid	19006	02/01/2012	4	06/01/2012	2	930	12/12/2011
Disco diamantado para concreto 9"	1	unid	19006	02/01/2012	4	06/01/2012	1	930	12/12/2011
Reglas de 1"x 3" x4 varas	60	unid	19021	02/01/2012	4	06/01/2012	60,00	2946	04/01/2012
Tablas de 1X12" x 4 varas	30	unid	19021	02/01/2012	4	06/01/2012	30,00	2946	04/01/2012
Mazo 12 libras	1	unid	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	1	4490	12/12/2011
Mazo 8 libras	2	unid	19003	01/12/2011	4	05/12/2011	2	4490	10/12/2011
Varilla cooperwell de 2,4 m	1	unid	19007	05/11/2011	4	09/11/2011	1	4493	12/12/2011
Nivel corto	1	unid	19009	12/12/2011	4	16/12/2011	1	4497	14/12/2011
Nivel largo	1	unid	19009	12/12/2011	4	16/12/2011	1	4497	14/12/2011
Mazo pequeño	3	unid	19028	09/01/2012	4	13/01/2012	3	4533	18/01/2012
Mazo de hule grande	4	unid	19029	09/01/2012	4	13/01/2012	4	4533	18/01/2012
Varillas# 5 grado 40	230	unid	19025	04/01/2012	4	08/01/2012	230	4559	25/01/2012
Alambre negro	100	kg	19034	13/01/2012	4	17/01/2012	100	4559	25/01/2012
Varillas #2 grado 40	100	unid	19037	19/01/2012	4	23/01/2012	100	4559	25/01/2012
Varillas #3 grado 40	200	unid	19037	19/01/2012	4	23/01/2012	200	4559	25/01/2012
Varillas #4 grado 40	70	unid	19037	19/01/2012	4	23/01/2012	70	4559	25/01/2012
Manguera	1	unid	19029	09/01/2012	4	13/01/2012	1	4664	27/01/2012
Clavos de acero 2"	4	cajas	19033	11/01/2012	4	15/01/2012	4	4664	27/01/2012
Discos de corte metal 9"	50	unid	19037	19/01/2012	4	23/01/2012	50	4664	27/01/2012
Block 15 x 20 x 40 cm clase A	600	unid	19038	25/01/2012	4	29/01/2012	600	9571	01/02/2012

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

El comportamiento de la llegada de materiales al proyecto con respecto al pedido, durante el periodo del 09/11/2011 al 22 de febrero del 2012, se muestra en la figura 3.

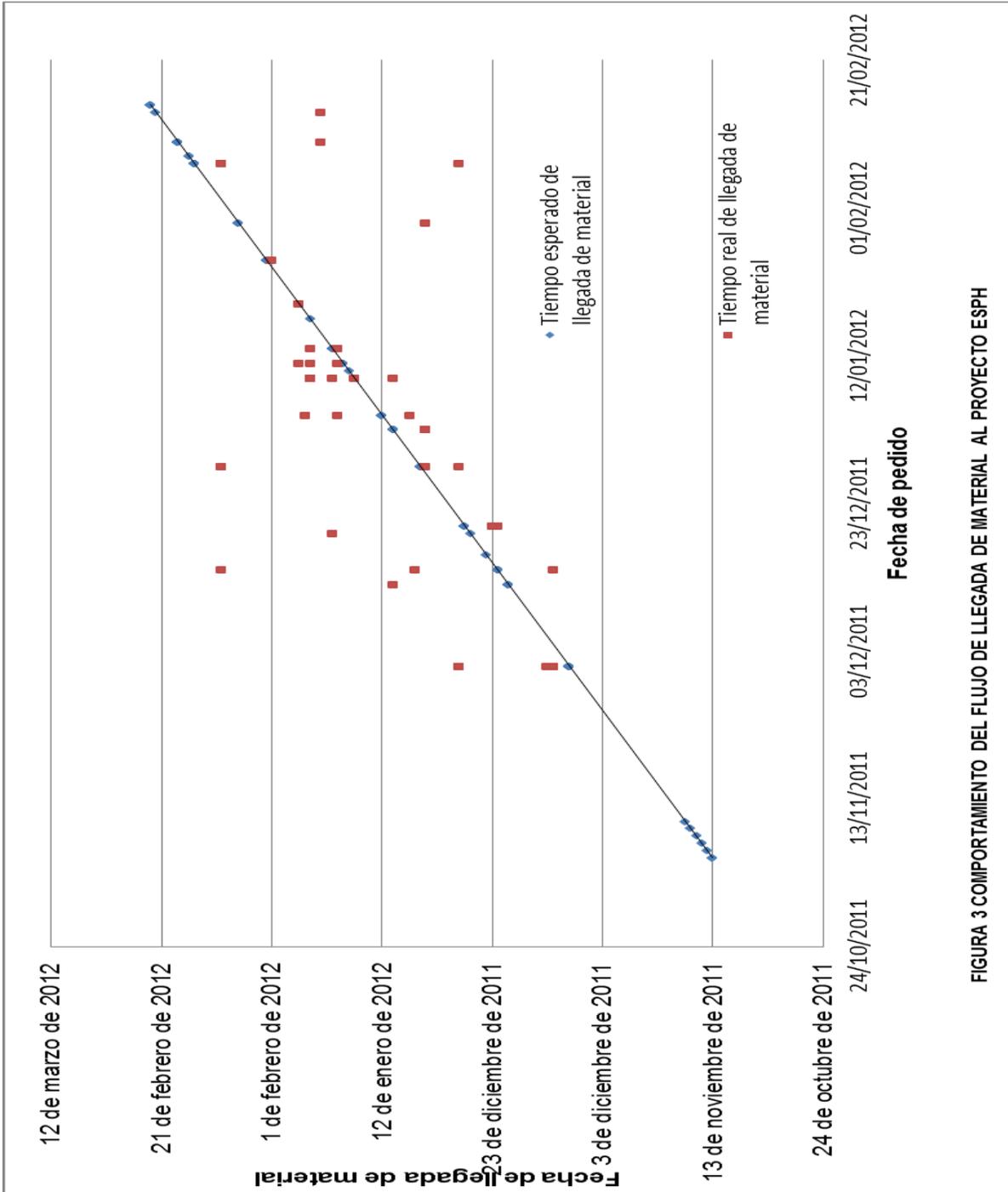


FIGURA 3 COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DE LLEGADA DE MATERIAL AL PROYECTO ESPH

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Efecto sobre los costos producto de desperdicios

El cuadro 10 muestra los costos extras producto de los problemas identificados en la primera etapa de la investigación (cuadro 1)

CUADRO 10. EFECTO SOBRE EL COSTO, PRODUCTO DE DESPERDICIOS PRESENTES EN EL ALMACÉN ESPH						
Desperdicio	Efecto o defecto	Implicó	Cantidad	Unidad	Costo unitario \$	Desperdicio total \$
Columnas C-2 dim 0,4 m x 0,15 m	Hormigueros	Demolición de concreto, doble mano de obra.	4	unid	\$109,00	\$436,00
Pared de mampostería 15x20X40 sisada	Gradas apreciables entre bloques	Remover bloques y volver a colocar.	108	unid	\$1,56	\$168,42
Pared de mampostería 15x20X40	Desperdicio de bloques	Costo por desperdicio	400	unid	\$0,85	\$339,18
Entrepiso	Corrección de ubicación de viguetas.	Doble trabajo.	1	glob	\$60,18	\$60,18
Robo de armadura de pedestales	Reposición de acero y mano de obra.	Reposición de acero y doble mano de obra	3	unid	\$185,19	\$555,56
Retraso en la entrega de obra hasta 11/05/2012	Pago de 1 maestro de obras.	Mano de obra tiempo extra según lo presupuestado, incluyendo las cargas sociales	35,00	días	\$49,42	\$1.729,53
	Pago de 1 ingeniero residente.				\$84,80	\$2.967,84
	Pago de 1 bodeguero.				\$40,98	\$1.434,18
	Pago de 1 operario de back hoe.				\$85,11	\$2.978,68
	Pago de 2 operarios.				\$81,95	\$2.868,36
	Pago de 3 ayudantes				\$104,02	\$3.640,61
TOTAL COSTO ASOCIADO A ERRORES (DESPERDICIO):						\$17.178,54
COSTO DEL PROYECTO ALMACEN ESPH						\$970.000,0
PORCENTAJE DE IMPACTO CON RESPECTO AL COSTO TOTAL DEL PROYECTO						1,8%

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Propuesta de mejora según los principios Lean (Flujo continuo).

Los principios Lean resultan ser una alternativa atractiva para la administración de obras de construcción. Muchos de los problemas comunes en los proyectos se a que las empresas constructoras solucionan los conflictos según se presenten en la obra, por el contrario, los métodos Lean en la construcción plantean un análisis preliminar de cada proyecto procurando predecir y evitar situaciones que afecten el flujo efectivo del trabajo y procurando una mejora continua de los procesos, en este sentido, se plantean soluciones Lean que minimicen el impacto de los problemas identificados a lo largo del proyecto. La estrategia Lean propuesta a continuación, pretende atacar los proyectos en tres etapas: Primero, mediante una planificación y análisis del proyecto, en segundo lugar una programación y planificación específica de las actividades y en tercer lugar manteniendo un control y procurando etapa tras etapa una mejora continua de los procesos. Dichas propuestas se presentan enseguida:

Planificación y análisis del proyecto

La planificación del proyecto resulta una de las actividades más importantes para la ejecución de proyectos, se realiza con el objetivo de identificar eventuales dificultades a las cuales estará sujeta la obra. Para efectos de dicha planificación y análisis se desarrollaron las siguientes plantillas, que se describen de la siguiente manera: Una plantilla de diseño de sitio (distribución de área de trabajo y materiales), una plantilla de diseño de flujos de tareas donde se programan los recursos e insumos y un organigrama de identificación de responsabilidades para los encargados de la obra. Además de una plantilla de análisis de tabla de pagos, que realice el desglose de costo 80-20.

Plantilla de diseño de sitio:

Se busca realizar una distribución eficiente del espacio del proyecto de modo que el flujo de trabajo no se vea afectado por el traslado excesivo de material, dificultad de movilización y

por el desorden en la construcción, la figura 4 muestra una propuesta de distribución del área del proyecto ESPH, ver simbología en el cuadro 11.

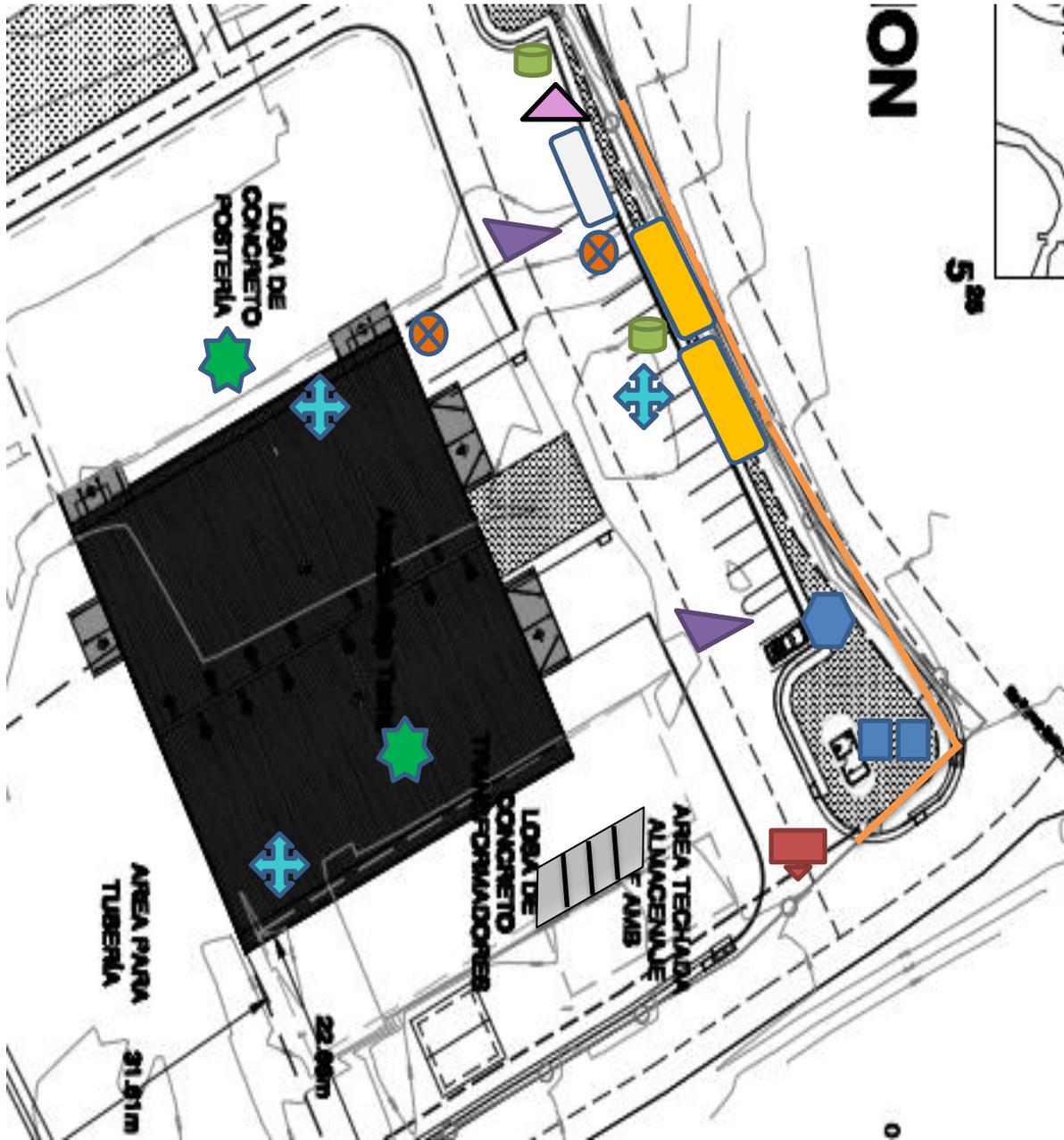
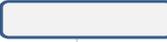
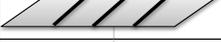


Figura 4 Distribución de sitio construcción almacén ESPH, utilizando plantilla de diseño de sitio correspondiente al cuadro 11. Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

La plantilla de diseño de sitio se fundamenta en la simbología del cuadro 11, para su uso se debe adjuntar el plano en planta del proyecto y distribuir los símbolos según lo requiera el

proyecto, como se muestra en la figura 4, esta plantilla cuenta con una simbología que incluye la mayoría de las posibles obras necesarias de considerar en un diseño de sitio.

CUADRO 11. PLANTILLA DE DISEÑO Y DISTRIBUCION DEL ESPACIO DEL PROYECTO.		
INSTALACION	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
ACCESO AL PROYECTO		ACCESO AL PROYECTO CON PUERTA DE MARCO DE MADERA Y SARÁN DE UNA SOLA ALA Y APERTURA HACIA ADENTRO, ANCHO MINIMO 4 M
CABAÑAS SANITARIAS		CABAÑAS SANITARIAS INDIVIDUALES, UNA CABAÑA POR CADA 10 TRABAJADORES
CERRAMIENTO		CERRAMIENTO PERIMETRAL DEL SITIO EN ESTRUCTURA DE MADERA Y SARÁN, ALTURA 2M DEL NIVEL DEL SUELO
GRÚA TORRE		GRÚA TORRE CON DIMENSIONES SEGÚN MAGNITUD Y NECESIDAD DEL PROYECTO, CONSIDERAR RADIO DE GIRO, ALTURA MÁXIMA, CAPACIDAD DE LEVANTAMIENTO.
BODEGAS DE MATERIALES		BODEGAS DE ESTRUCTURAS DE MADERA Y CERRAMIENTOS CON LÁMINAS DE ZINC.
CONTENEDOR DE OFICINAS		CONTENEDOR CON OFICINAS PARA INGENIERO, SERVICIOS SANITARIO Y SALA DE REUNIONES.
TALLERES DE ARMADURA		TALLERES DE ARMADURA BAJO TECHO CON PUERTA DE ACCESO ANCHA Y BANCOS DE ARMADURA RÍGIDOS.
CASETA SE SEGURIDAD		CASETA DE SEGURIDAD EN LÁMINA DE ZINC O MADERA, UNA CASETA POR OFICIAL EN EL PROYECTO.
TEMPORERAS (ELÉCTRICIDAD)		TEMPORERAS ELÉCTRICAS CAPACIDAD 110 V Y 220 V
SILOS DE AGREGADOS		SILOS DE AGREGADOS : PIEDRA, ARENA, LASTRE. ÁREA DESTINADA SEGÚN TAMAÑO DE LA OBRA.
PARQUEOS		PARQUEO DE AUTOMOVILES PARA TRABAJADORES E INSPECTORES.
RAMPAS DE ACCESO		RAMPAS DE ACCESO NO MAYORES AL 1V::2H
CENTRO DE ACOPIO		CENTRO DE RECICLAJE DE : ACERO, MADERA, DESECHOS PLÁSTICO, PAPEL, BASURA ÓRGANICA.
UBICACIÓN DE MATERIALES PESADOS		MATERIALES TALES COMO BLOQUES DE CONCRETO QUE PUEDEN PERMANECER A LA INTERPERIE.
BASUREROS		BASUREROS VARIOS (ESTAÑONES) PARA EL DEPÓSITO DE DESECHOS Y BASURA. CADA BASURERO DEBIDAMENTE ROTULADO

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Plantilla de diseño de flujos de tareas

Como propuesta para mejorar el flujo de trabajo y evitar desperdicio de tiempo, material y equipo, se plantea el uso de plantillas de diseño de flujo de procesos, donde se identifique los insumos necesarios para cada tarea dentro de un ciclo de construcción. La herramienta consiste en definir

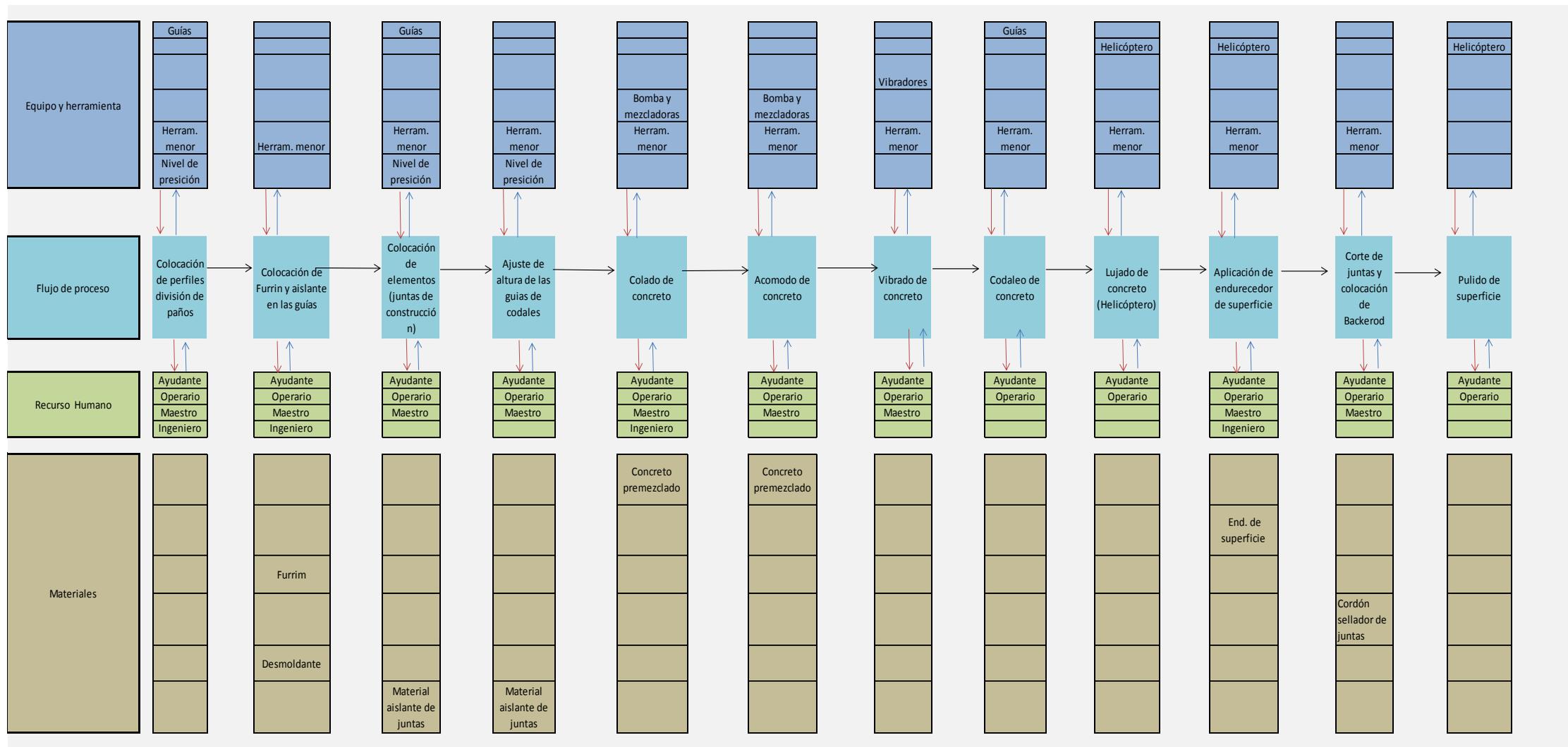
los recursos en una tabla de entrada de datos (corresponde al cuadro 12), una vez asignados estos valores automáticamente se obtiene el flujo de proceso en un esquema de flujo (corresponde a figura 5). Para efectos de análisis se diseñaron los flujos de las actividades críticas en costo-tiempo del proyecto almacén ESPH. (Ver cuadro 4) de manera representativa se presenta a continuación el flujo propuesto para la actividad "Contra piso de la nave"

CUADRO 12. PLANTILLA DE ENTRADA DE RECURSOS Y TAREAS, PARA EL DISEÑO DE FLUJO DE PROCESO PARA LA ACTIVIDAD ALMACÉN ESPH.																
Tarea/recurso	Recurso humano				Materiales						Equipo y maquinaria					
	Ayudante	Operario	Maestro	Ingeniero	Concreto premezclado	End. de superficie	Furrin	Cordón sellador de juntas	Desmoldante	Material aislante de juntas	Guías metálicas	Helicóptero	Vibradores	Bomba y mezcladoras	Herram. menor	Nivel de precisión
Colocación de perfiles división de paños	3	2	1	1							1				1	1
Colocación de Furrin y aislante en las guías	3	2	1	1			X		X						1	
Colocación de elementos (juntas de construcción)	2	1	1							X	1				1	1
Ajuste de altura de las guías de codales	2	1	1							X					1	1
Colado de concreto	2	1	1	1	X									1	1	
Acomodo de concreto	4	1	1		X									1	1	
Vibrado de concreto	1	1	1									1			1	
Codaleo de concreto	2	1									1				1	
Lujado de concreto (Helicóptero)	1	1										1			1	
Aplicación de endurecedor de superficie	2	1	1	1		X						1			1	
Corte de juntas y colocación de Backerod	2	2	1					X							1	
Pulido de superficie	1	1										1				

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

La figura 5 define el flujo de tareas requeridas para cada una de las tareas del flujo de trabajo, esto permite identificar los recursos necesarios y el momento en que deben de entrar al ciclo de

construcción y así evitar reducción del flujo de trabajo. A continuación la figura 5 presenta el flujo para la actividad “Contrapiso de la nave del almacén, ESPH”



Salida del insumo del proceso ←

Entrada del insumo al proceso →

Figura 5. Diseño de flujo de procesos propuesto para la actividad “contrapiso” del almacén ESPH.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Organigrama de responsabilidades de los encargados de la obra

Los organigramas de responsabilidades para los puestos principales que administran la obra de construcción permiten tener un control minucioso de la misma, así como un control específico del personal, en este sentido se consideran como protagonistas de la administración de la obra a el

Ingeniero residente, el Director del proyecto, el Ingeniero en Seguridad Laboral, el Maestro(s) de obra, el Bodeguero y el proveedor, para cada uno de los anteriores se diseñó un organigrama de responsabilidades. De manera representativa la figura 6 y figura 7 muestra dicho organigrama para el Ingeniero residente y para el Director de proyecto respectivamente. (Ver los demás organigramas en apéndice 3)

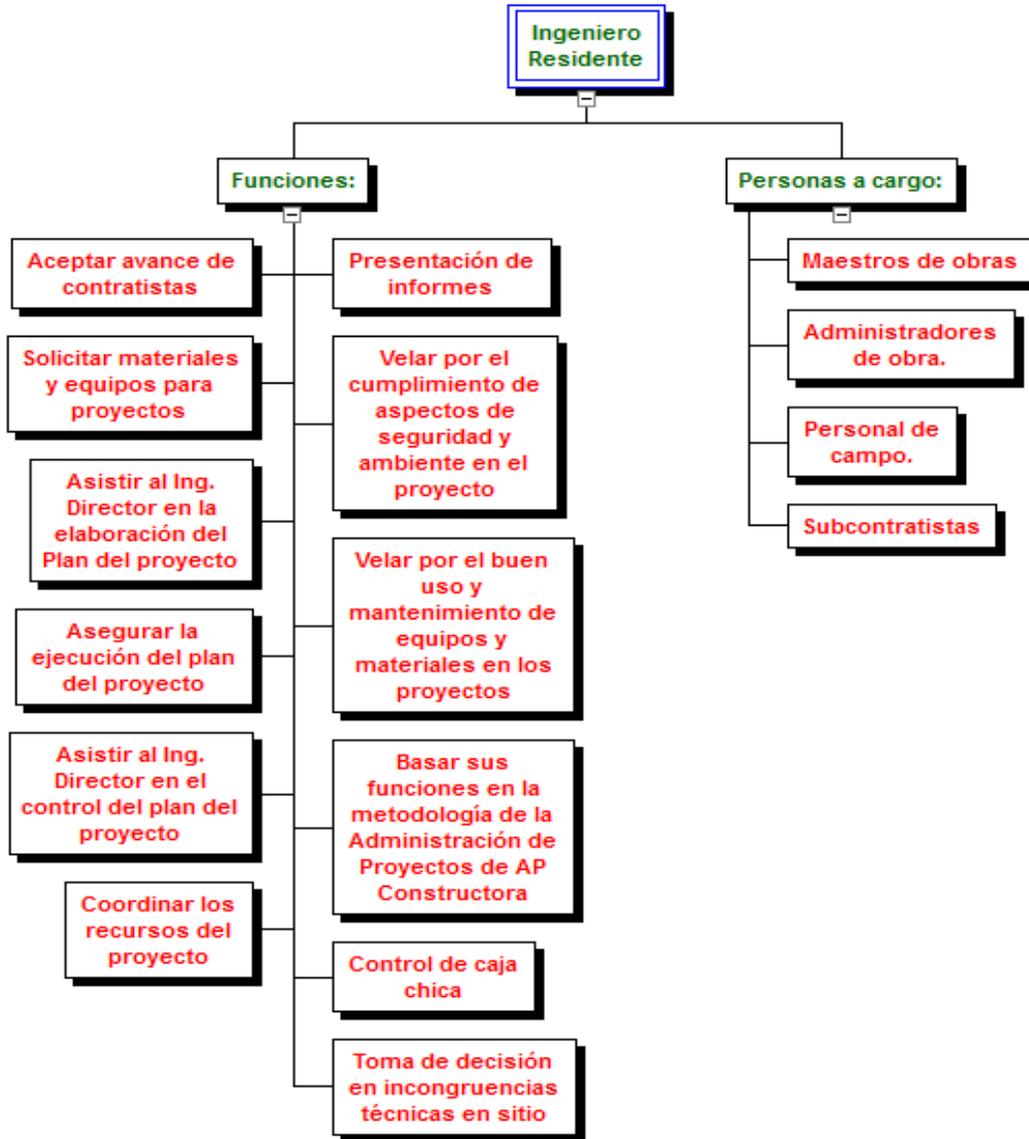


Figura 6. Organigrama de funciones y personal a cargo del Ingeniero Residente. Elaborado con el programa WBS Chart Pro



Figura 7. Organigrama de funciones y personal a cargo del Director de proyecto.

Elaborado con el programa WBS Chart Pro

Como parte la etapa de planificación de obra, además, se desarrolló una plantilla de distribución de costo, donde se identifique las actividades con mayor peso en términos monetarios del proyecto, esta plantilla analiza la tabla de pagos del proyecto y selecciona las 20 actividades más costosas del proyecto. Dicha plantilla corresponde a la utilizada para el análisis

80-20 del proyecto Almacén ESPH, (Ver cuadro 2).

Programación y planificación específica de actividades

La planificación del proyecto no es suficiente si no existe un seguimiento continuo de los planes elaborados. Los cronogramas generales son difíciles de llevar y controlar por la cantidad generalmente grande de actividades que componen los proyectos, de este modo, se plantea realizar una planificación y una programación para periodos de tres semanas. Además de revisiones semanales con los contratistas y encargados de la obra para dar seguimiento a los objetivos alcanzados y el cumplimiento del plan de tres semanas. La figura 8 muestra la estructura completa del plan tres semanas, mientras que el cuadro 13, cuadro 14 y cuadro 15, amplían las secciones de dicho plan para su mejor interpretación.

PROYECTO:	ALMACEN ESPH
CLIENTE:	EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE HEREDIA
UBICACIÓN:	HEREDIA - COSTA RICA
FECHA DE INICIO:	12 DE DICIEMBRE 2011



PLAN NUMERO	1
FECHA DE INICIO	2/1/12

ITEM	CONSTRUCCION ALMACEN E.S.P.H	CANTIDAD	UNIDAD	INICIO DE TAREA	DURACION EN DIAS NATURALES	FINAL DE LA TAREA	INICIO DE SEMANA 1	FIN DE SEMANA 1	INICIO DE SEMANA 2	FIN DE SEMANA 2	INICIO DE SEMANA 3	FIN DE SEMANA 3	AVANCE TOTAL ALCANZADO	RESPONSABLE	COMENTARIO
							2/1/12	9/1/12	10/1/12	17/1/12	18/1/12	25/1/12			
1	NIVELADO DE TERRAZA	1500	M2	2/1/12	1,00	2/1/12	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	METRÓPOLI	TENER COORDINADO ENTRADA DE MAQUINARIA
2	VIGAS ENTREPISO Y ENTREPISO	300	M2	3/1/12	5,00	7/1/12	100,00%	96,00%	0,00%	4,00%	0,00%	0,00%	100,00%	ARMAFORTE	ASEGURAR FECHA CON ENCARGADO DE ARMAFORTE
3	CONTRAPISO	1500	M2	9/1/12	6,00	14/1/12	10,00%	8,00%	90,00%	85,00%		7,00%	100,00%	SIPCO	COORDINAR ORDEN DE COLADO DE PAÑOS.
4	FORRO DE PAREDES LÁMINA HG	1200	M2	5/1/12	15,00	19/1/12	25,00%	23,00%	70,00%	65,00%	5,00%	12,00%	100,00%	ARMAFORTE	SEGUIMIENTO A ARMAFORTE
5	ACABADO DE CONTRAPISO	1500	M2	16/1/12	2,00	17/1/12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	SIPCO	TENER APROBADO SELLO DE JUNTAS, PRUEBAS DE LABORATORIO.
6	PEGADO DE PISO PORCELANATO	300	M2	9/1/12	10,00	18/1/12	0,00%	0,00%	90,00%	85,00%	10,00%	5,00%	90,00%	JOSÉ ESCOBAR	COORDINAR LLEGADA DE MATERIALES
7	PAREDES LIVIANAS	40	M2	16/1/12	5,00	20/1/12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	95,00%	95,00%	INST.ARAYA	ENTRADA DE CONTRATISTA, DEFINIR CONTRATO
8	CIELOS	30	M2	17/1/12	7,00	23/1/12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	90,00%	90,00%	INST.ARAYA	ENTRADA DE CONTRATISTA, DEFINIR CONTRATO
9	PIEZAS SANITARIAS Y ACCESORIOS.	6	UNIDAD	19/1/12	2,00	20/1/12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	MACOPA	SOMETER PIEZAS A APROBACION
10	ENCHAPES	60	M2	19/1/12	5,00	23/1/12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	JOSÉ ESCOBAR	PLANEAR INSPECCIÓN DE PISOS
11	AJUSTE DE CLAVADORES	3	UNIDAD	4/1/12	2,00	5/1/12	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	EYPA	ASEGURAR FECHA DE SOLDADORES
12	CUBIERTA Y HOJALATERÍA	1500	M2	6/1/12	11,00	16/1/12	50,00%	45,00%	50,00%	55,00%	0,00%	0,00%	100,00%	HERSON SOLIS	SEGUIMIENTO A HERSON
13	EXTRACTORES DE TECHO	14	UNIDAD	17/1/12	7,00	23/1/12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	SAIRE	GARANTIZAR ENTREGA EN FECHA INDICADA

Sección de programación de tareas 3 semanas.
(Ver cuadro 13)

Asignación de avance semanal esperado y Seguimiento.
Semanal alcanzado.
(Ver cuadro 14)

Indicaciones y comentarios
(Ver cuadro 15)

Figura 8. Plantilla para programación del plan tres semanas completo.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

La idea del plan tres semanas es desglosar el cronograma general del proyecto, el plan tres semanas tiene la cualidad de programar las actividades y tareas, asignándole una fecha de inicio y una duración deseada (estas fechas son necesarias para que la plantilla automáticamente genere el diagrama de Gantt del plan tres semanas figura 9). La plantilla tiene además la posibilidad de asignarle la cantidad de

trabajo que se proyecta alcanzar en este periodo programado, la plantilla restringe que la programación no sea mayor a tres semanas de trabajo.

Para ejemplificar el uso de esta plantilla a continuación se presenta un ejemplo hipotético del uso de la herramienta. La figura 8 secciona el plan tres semanas en 3, la primera sección que correspondería a la “Sección de programación de tareas de 3 semanas” ampliada en el cuadro 13.

CUADRO 13 SECCIÓN DE PROGRAMACIÓN DE TAREAS DE LA PLANTILLA PLAN 3 SEMANAS						
ID	ACTIVIDAD TAREA	CANTIDAD	UNIDAD	INICIO TAREA	DURACIÓN DÍAS NATURALES	FIN DE TAREA
1	NIVELADO DE TERRAZA	1500	M2	2/1/12	1,00	02/01/2012
2	VIGAS ENTREPISO Y ENTREPISO	300	M2	3/1/12	5,00	07/01/2012
3	CONTRAPISO	1500	M2	9/1/12	6,00	14/01/2012
4	FORRO DE PAREDES LÁMINA HG	1200	M2	5/1/12	15,00	19/01/2012
5	ACABADO DE CONTRAPISO	1500	M2	16/1/12	2,00	17/01/2012
6	PEGADO DE PISO PORCELANATO	1500	M2	9/1/12	10,00	18/01/2012
7	PAREDES LIVIANAS	40	M2	16/1/12	5,00	20/01/2012
8	CIELOS	30	M2	17/1/12	7,00	23/01/2012
9	PIEZAS SANITARIAS Y ACCESORIOS DE BAÑO	6	M2	19/1/12	2,00	20/01/2012
10	ENCHAPES	60	M2	19/1/12	5,00	23/01/2012
11	AJUSTE DE CLAVADORES	3	UNID	4/1/12	2,00	05/01/2012
12	CUBIERTA Y HOJALATERÍA	1500	M2	6/1/12	11,00	16/01/2012
13	EXTRACTORES DE TECHO	14	UNID	17/1/12	7,00	23/01/2012

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

La segunda partición de la figura 8 “Asignación de avance semanal esperado y Seguimiento semanal alcanzado” corresponde a una tabla de control de avance semanal donde se

monitorea el avance proyectado para cada semana y el avance alcanzado realmente en obra, esta sección corresponde al cuadro 14.

CUADRO 14 SECCION DE ASIGNACION DE AVANCE SEMANAL ESPERADO Y SEGUIMIENTO SEMANAL ALCANZADO DE LA PLANTILLA PLAN 3 SEMANAS						
	INICIO SEMANA 1	FIN SEMANA 1	INICIO SEMANA 2	FIN SEMANA 2	INICIO SEMANA 3	FIN SEMANA 3
	02/01/2012	09/01/2012	09/01/2012	16/01/2012	16/01/2012	23/01/2012
ACTIVIDAD TAREA	AVANCE ESPERADO PRIMERA SEMANA	AVANCE ALCANZADO PRIMERA SEMANA	AVANCE ESPERADO SEGUNDA SEMANA	AVANCE ALCANZADO SEGUNDA SEMANA	AVANCE ESPERADO TERCERA SEMANA	AVANCE ALCANZADO TERCERA SEMANA
NIVELADO DE TERRAZA	100,00%	100,00%				
VIGAS ENTREPISO Y ENTREPISO	100,00%	96%		4,00%		
CONTRAPISO	10,00%	8%	90,00%	85,00%		7%
FORRO DE PAREDES LÁMINA HG	25,00%	23%	70,00%	65,00%	5%	12%
ACABADO DE CONTRAPISO					100%	100%
PEGADO DE PISO PORCELANATO			90,00%	85,00%	10%	5%
PAREDES LIVIANAS					100%	95%
CIELOS					100%	90%
PIEZAS SANITARIAS Y ACCESORIOS DE BAÑO					100%	100%
ENCHAPES					100%	100%
AJUSTE DE CLAVADORES	100,00%	100%				
CUBIERTA Y HOJALATERÍA	50,00%	45%	50,00%	65,00%		
EXTRACTORES DE TECHO					100%	95%

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

La tercera sección, correspondiente al cuadro 15, tiene la función de asignar responsables para las actividades programadas en el plan tres semanas, de modo de cada involucrado del proyecto está consciente del avance que debe alcanzar durante estas tres semanas, así puede programar tareas y flujos

para que el tiempo de entrega se cumpla. Además la herramienta pretende identificar las tareas e hitos importantes para garantizar fluidez de procesos. Por ejemplo un hito puede ser, la presentación de un formularios de aprobación de material a los clientes en una fecha específica.

CUADRO 15 SECCIÓN DE ASIGNACIÓN DE HITOS Y RESPONSABILIDADES, PLANTILLA PLAN TRES SEMANAS		
ACTIVIDAD TAREA	RESPONSABLE(S)	COMENTARIO
NIVELADO DE TERRAZA	METRÓPOLI	Tener coordinado con grupo Metrópoli
VIGAS ENTREPISO Y ENTREPISO	ARMAFORTE	Asegurar fecha con encargado ARMAFORTE
CONTRAPISO	SIPCO	Coordinar orden de colado de los paños.
FORRO DE PAREDES LÁMINA HG	ARMAFORTE	Seguimiento a Armaforte (FM)
ACABADO DE CONTRAPISO	SIPCO	Tener sello de juntas aprobado, pruebas de laboratorio y supervisión de Aditec (Ashford)
PEGADO DE PISO PORCELANATO	JOSÉ ESCOBAR	Coordinar llegada de material.
PAREDES LIVIANAS	INST.ARAYA	Coordinar inicio en sitio (FM), contrato con Araya (IG)
CIELOS	INST.ARAYA	Coordinar inicio en sitio (FM), contrato con Araya (IG)
PIEZAS SANITARIAS Y ACCESORIOS DE BAÑO	MACOPA	Definir contratista más conveniente y someter a aprobación el sistema (FM), contratar (IG)
ENCHAPES	JOSÉ ESCOBAR	Aprobación de piezas y colocado.
AJUSTE DE CLAVADORES	EYPA	Asegurar fecha con encargado EYPA
CUBIERTA Y HOJALATERÍA	HERSON SOLÍS	Seguimiento a Gerson (FM)
EXTRACTORES DE TECHO	SAIRE	Garantizar entrega en fecha indicada.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

El plan tres semanas consiste como ya se mencionó en una herramienta sencilla que permite administrar el tiempo para las actividades del proyecto, además permite comparar los porcentajes de avance proyectados y los porcentajes de avance alcanzados semanalmente, de este modo la herramienta facilita inclusive el

diagrama de Gantt para las tres semanas programadas. La continuación la figura 9 muestra el diagrama de Gantt para el plan tres semanas propuestos para el proyecto ESPH.

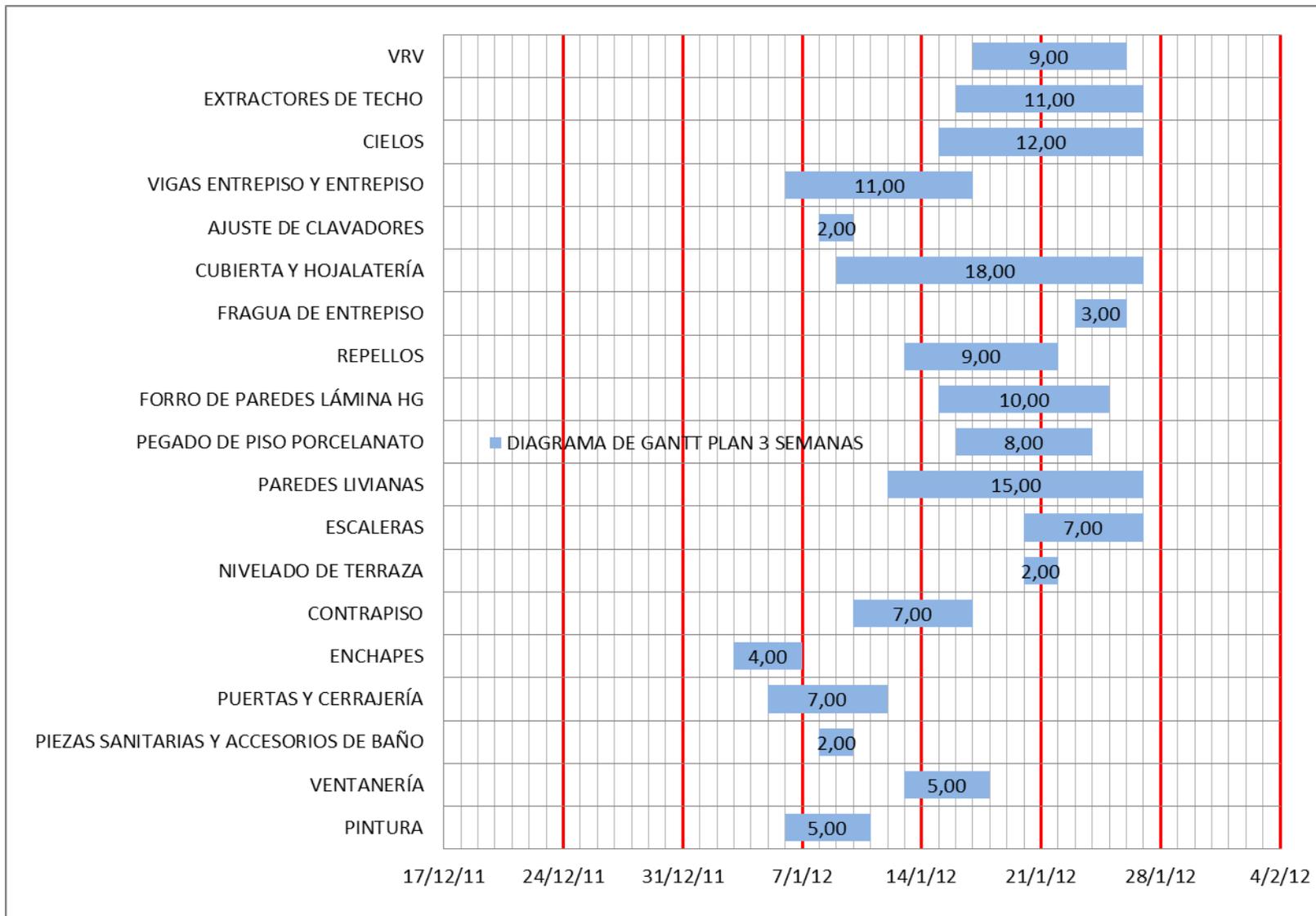


Figura 9 Diagrama Gantt de seguimiento para plan tres semanas, programación y tiempos esperados.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

El plan tres semanas a partir de los porcentajes esperados de avance y los porcentajes alcanzados semanalmente e indicados en el cuadro 14, generan una tabla de análisis estadístico del rendimiento semanal alcanzado para las tareas y actividades

programadas, de modo que se puede comparar el rendimiento necesario para cumplir con los tiempos asignados (rendimiento esperado) y el rendimiento real alcanzado semanalmente. El cuadro 16 muestra la tabla antes mencionada.

CUADRO 16 PLANTILLA RESUMEN DE RENDIMIENTOS MEDIDO SEGUN SEGUIMIENTO PLAN 3 SEMANAS										
EDT	ACTIVIDAD	UNIDAD	PRIMERA SEMANA		SEGUNDA SEMANA		SEGUNDA SEMANA		CAUSAS ATRASO	AVANCE ALCANZADO
			PRODUCT ESPERADA 1ER SEMANA	PRODUCT ALCANZADA 1ER SEMANA	PRODUCT ESPERADA 2DA SEMANA	PRODUCT ALCANZADA 2DA SEMANA	PRODUCT ESPERADA 3ER SEMANA	PRODUCT ALCANZADA 3ER SEMANA		
1	NIVELADO DE TERRAZA	M2	1500,0	1500,0	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	NINGUNA	100%
2	VIGAS ENTREPISO Y ENTREPISO	M2	300,0	288,0	FUERA DE PROGRAMA	12,0	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	NINGUNA	100%
3	CONTRAPISO	M2	150,0	120,0	1350,0	1275,0	FUERA DE PROGRAMA	105,0	ERRORES CONST	100%
4	FORRO DE PAREDES LÁMINA HG	M2	300,0	276,0	840,0	780,0	60,0	144,0	FALTA INFORMACION	100%
5	ACABADO DE CONTRAPISO	M2	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	1500,0	1500,0	NINGUNA	100%
6	PEGADO DE PISO PORCELANATO	M2	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	1350,0	1275,0	150,0	75,0	POCO PERSONAL	90%
7	PAREDES LIVIANAS	M2	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	40,0	38,0	PROBLEMA CON MATERIAL	95%
8	CIELOS	M2	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	30,0	27,0	PROBLEMAS CON LA ACTIVIDAD ANTERIOR	90%
9	PIEZAS SANITARIAS Y ACCESORIOS	M2	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	6,0	6,0	NINGUNA	100%
10	ENCHAPES	M2	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	60,0	60,0	NINGUNA	100%
11	AJUSTE DE CLAVADORES	UNID	3,0	3,0	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	NINGUNA	100%
12	CUBIERTA Y HOJALATERÍA	M2	750,0	675,0	750,0	825,0	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	NINGUNA	100%
13	EXTRACTORES DE TECHO	UNID	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	FUERA DE PROGRAMA	14,0	13,3	ATRASO CON LA APROBACION DE MATERIAL	95%

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Análisis de los resultados

Demanda de los procesos:

Por la naturaleza del sector construcción, los proyectos se convierten en un verdadero reto al instante de administrar la obra. Al ser un sector en el cual los procesos están ligados unos de otros la interacción de las actividades es inmediata en la obra, el uso del espacio y garantizar un ambiente de trabajo adecuado representa actualmente una necesidad prioritaria en las obras de construcción, (es importante hacer hincapié en que la mayoría de las empresas no prestan interés por estas situaciones), además es indispensable que la calidad del proceso y el producto final que cada actividad genere y garantice que su actividad sucesora pueda desarrollarse eficientemente, es común en las obras de construcción, que no se identifiquen errores o imperfecciones en una actividad sino hasta el momento en que la actividad sucesora empieza a dificultarse o en el peor de los casos no pueda ejecutarse del todo, producto de una base mal construida, este caso anterior es solo el principio de una serie de conflictos con los que el Ingeniero residente y encargados de la obra deben lidiar en un proyecto de construcción.

A pesar de los constantes conflictos presentes en la construcción, los métodos de administración de obras siguen sistemas con una deficiente planificación y control de obra, cayendo proyecto tras proyecto en los mismos errores. Por lo tanto, si una empresa quiere desarrollar su potencial en el mercado de la construcción debe, (como lo indicó Albert Einstein 1879-1955) en una de sus frases: **“Si quieres resultados diferentes, no hagas siempre lo mismo”**, actualmente el sector necesita de un sistema

multidisciplinario que planifique cada etapa del proyecto, que controle la ejecución de tareas, que garantice la calidad en cada elemento construido, que evite el desperdicio de material, que disminuya el tiempo muerto y los trabajos dobles y que finalmente garantice un proceso constructivo fluido que evite muchos conflictos asociados, como por ejemplo: multas por atraso en la entrega, sobrecosto en actividades que se salen del presupuesto destinado, multas por incumplimiento de calidad, subsanación de errores constructivos, sanciones por falta de seguridad laboral, es decir que evite cualquier tipo de desperdicio. Muchas empresas han logrado optimizar el tiempo, el costo y la calidad sus obras, este objetivo lo han alcanzado atacando prioritariamente los problemas que están generando el estancamiento en el flujo efectivo y que generan los efectos presentados en el cuadro 1.

Durante el proceso de construcción del almacén ESPH se identificaron una serie de problemas que afectan el flujo constructivo y evidentemente afectan la productividad, dichos problemas representan “demandas” que la empresa constructora debe resolver para generar un proceso Lean, es decir comprometido con aumentar la eficiencia de los procesos y evitar desperdicios tales como los que se definen en el marco teórico del presente documento, las demandas inmediatas presentes en el proyecto ESPH probablemente se repitan en otros proyectos de la empresa AP constructora por lo que se deben de corregir. Para efectos de interpretar mejor estos conflictos se clasifican según los siguientes criterios:

Falta de Planificación y diseño de sitio

Desperdicio Movimiento de materiales y transporte: Movimiento de material primas en el proceso de producción.

Las etapas preliminares de los proyectos de construcción son indispensables ya que, garantizan el resguardo de materiales, comprenden talleres de fabricación de elementos tales como armadura, pero desde otro punto de vista podría pensarse que son actividades que no agreguen valor directamente a la obra. No se trata de definir estas actividades preliminares

como un desperdicio, por el contrario como ya se mencionó son de suma importancia para el desarrollo del proyecto, en lo que se trata de enfatizar es en la importancia de la planificación y diseño de estas obras iniciales, de modo que, se tome el tiempo necesario para planificarse pensando en los requerimientos que el proyecto verdaderamente amerite. Además, comúnmente el inicio de los proyectos suelen ser una etapa lenta del proceso de construcción en este sentido con mayor razón debe de tomarse en cuenta en la planeación del proyecto, para evitar atrasos desde etapas primeras de la obra.

En el proyecto antes mencionado, la etapa de obras preliminares, como las siguientes: bodegas de material, vestidores, caseta de seguridad, cerramientos, temporeras y otros. A pesar de estar dentro del plan de diseño de sitio, no se colocaron o distribuyeron de buena manera, provocando un estancamiento en etapas primeras del proyecto. Este hecho evidencia que lo esencial no es la planificación únicamente sino que junto al plan teórico se debe procurar garantizar que las ideas planeadas se lleven a cabo en sitio.

El cronograma general del proyecto en estudio destinaba un periodo de 6 días naturales para los trabajos preliminares (incluyendo el movimiento de tierra (ver cuadro 3) a partir del 12 de diciembre del 2011, es decir para el 17 de diciembre del 2011 ya debería de estar concluidas estas tareas, por el contrario el movimiento de tierras se prolongó hasta el 22 de diciembre del 2011, es decir 5 días hábiles después de la fecha planificada, este atraso se atribuye a que el tiempo destinado fue muy poco para el volumen de trabajo que representaba, ya que el movimiento de tierras requería la demolición de una estructura de 11 m de altura y 1500 m² de área en marcos de acero, además de varios paños de mampostería presentes en el sitio. En este sentido, es esencial definir tiempos reales para la ejecución de las tareas, comúnmente las empresas constructoras diseñan los cronogramas de obra con tiempos definidos por la experiencia del Ingeniero, sin tomar en consideración la magnitud de los trabajos ni las dificultades que pueden encontrarse en campo. Es aquí, donde la planificación precisa es esencial para alcanzar los objetivos.

Con el transcurso del proyecto también se presentaron problemas con las bodegas, se perdió tiempo excesivo en el acomodo del

material que llegaba al proyecto ya que las bodegas fueron construidas con accesos estrechos, de modo que en el momento de descargar los materiales se producía obstrucción del acceso y exceso de personal. También, algunos materiales en bodega debieron moverse para acomodar materiales entrantes, por ejemplo, movilización de paneles de formaleta para el acomodo de cemento, provocando pérdida de tiempo de mano de obra. Este problema antes mencionado, inclusive, causó una lesión a uno de los trabajadores.

Además los apilamientos de materiales pesados tales como bloques de mampostería, agregados y piedra bola no fueron ubicados pensando en disminuir la distancia de acarreo, teniendo que mover el material con ayuda del Backhoe, lo que implicó gasto de tiempo y recursos de la máquina, tiempo y costo que no estaban destinados para dichas tareas de movilización de material.

Problemas de control de calidad

Desperdicio Productos defectuosos o re trabajados: Productos que se requieren volver a trabajar por tener defectos.

La calidad de los materiales y el uso de técnicas apropiadas en la construcción son esenciales para alcanzar la calidad y los requerimientos de las técnicas específicas y los planos constructivos, además de tener la aprobación de la inspección, evitar errores constructivos, desperdicios de material y pérdida de fluidez de trabajo.

Entre las particularidades del proyecto estudiado cabe destacar, que las paredes perimetrales según se indica en planos constructivos y especificaciones fueron construidas en bloques de 15 cm x 20 cm x 40 cm con acabado sisado, se previó que la calidad y las dimensiones de los bloques debían ser precisos, de modo que en el momento de dar el acabado sisado se observe una sola línea recta horizontal en cada hilada de bloques, es decir, que no se observen “gradas” o “saltos” entre un bloque y el siguiente. El primer lote de bloques fue solicitado al proveedor “seleccionado”, es decir con dimensiones de 19,5 cm ± 0,3 cm, no hubo problema con este primer pedido, pero los siguientes, llegaron a la obra con dimensiones

inclusive de 18,5 cm de alto, no se chequeó las dimensiones y se recibió el material. Esta variación en la altura de los bloques provocó, como ya se había comentado, una “grada” entre un bloque y el siguiente por lo que hubo que demoler varios paños de pared, esto evidentemente, provocó una pérdida de material y tiempo al tener que repetir la actividad dos veces. Una vez que se identificó que los bloques tenían dimensiones distintas, se tuvo que destinar tiempo para que varios trabajadores fueran escogiendo bloque por bloque los que cumplían con las dimensiones, este trabajo redujo la productividad notoriamente, además de estar destinando tiempo en actividades que no agregan valor al producto.

La manipulación de materiales también representó un conflicto durante el desarrollo de la obra, ya que durante la descarga de bloques de concreto (fueron bajados a mano y apilados en columnas como se acostumbra) se colocaba un bloque sobre el otro para apilarlos, el golpe entre los mismos provocó que se quebraran las esquinas y aristas, de manera que estos bloques ya no podrían ser usados en las paredes por el hecho de que el acabado sisado quedaría estéticamente mal. En este caso, parte de la responsabilidad la asumió la empresa proveedora de los bloques, de los 500 bloques descargados se tuvieron que cambiar 250 unidades. Al hacerse la empresa proveedora responsable, la constructora no perdió el material pero, la consecuencia fue que el reintegro de los mismos se produjo 5 días después del suceso, en ese momento los bloques eran un material urgente ya que se debía terminar la pared para iniciar con el colocado de viguetas de entrepiso del mezanine. De modo que, el entrepiso se atrasó los cinco días necesarios para el reintegro del material, más el tiempo de construcción de la pared. Para evitar el desperdicio de bloques con puntas quebradas que no fueron cambiados, los albañiles tuvieron (mediante un proceso prácticamente artesanal) que reparar con mortero las puntas quebradas para dar nuevamente la forma rectangular y punteada a los bloques, esa tarea llevó mucho tiempo a los trabajadores, agregando costo sin aumentar el valor de la pared.

Dificultad de Organización y asignación de responsabilidades

Desperdicio Información Falta o exceso de información; también corresponde al mal uso que se haga de ella.

Los problemas de organización representan en la mayoría de los casos graves efectos en el flujo del proceso, es importante la asignación de responsabilidades, tareas y limitaciones para cada involucrado en el proceso de construcción. De modo que cada uno de los trabajadores tengan claro cuales son los campos que debe cubrir y de los cuales está encargado, esto con el objetivo de evitar que tareas y actividades queden sin un seguimiento continuo. Además es indispensable que cada trabajador tenga un encargado directo, que las líneas de mando estén claras y con una jerarquía lógica, para evitar que se cause confusión entre órdenes dadas por distintas personas encargadas del proyecto.

Problema similar al comentado anteriormente, se desarrolló en el proyecto Almacén ESPH, ya que las responsabilidades dentro del proyecto no se aclararon desde el inicio. Dejando algunas situaciones y tareas sin el debido seguimiento y trabajadores involucrados en actividades que no les correspondían. Es importante hacer énfasis de que cada trabajador debe ser proactivo en su momento, aportando ideas que mejoren el proceso, pero sin intervenir en actividades o dando indicaciones que van más allá de las funciones que le fueron asignadas en su momento.

Trabas por burocracia y falta de flexibilidad.

Es común que empresas con varios años en el mercado tengan una mentalidad bastante centralizada y rígida, evidentemente estos criterios de rigidez se proyectan al proceso construcción.

Es notorio que los empleados de la constructora sienten cierta tensión, y preocupación por lo que los superiores puedan pensar de su trabajo, en este sentido el trabajador no enfoca su atención en realizar sus

tareas para crecer, aprender e inclusive aportar ideas al proceso de construcción, sino que solo busca quedar bien ante su superior o encargado. De este modo la innovación en los procesos es nula, es decir, si se está utilizando una técnica lenta para realizar las tareas se seguirá aplicando esta técnica, aunque hayan procesos más eficientes para hacerlo. Este crecimiento y aporte de conocimientos no se trasmite como producto de la rigidez con que se realizan las tareas.

Es una necesidad y responsabilidad del empleador dotar a los trabajadores de las comodidades mínimas. Por ejemplo: herramientas, sistemas hidratación, servicios sanitarios, lugares de descanso y otros. Muchas veces, estas iniciativas son consideradas como gastos innecesarios del proyecto o el presupuesto asignado es muy poco. Más que una pérdida, la inversión para mantener cómodos a los trabajadores, es recompensada con un aumento en la productividad de los trabajadores, que representa mayores beneficios que gastos.

Ausencia de capacitación y escasez de mano de obra calificada.

Es común pensar que en el sector construcción no requiere mano de obra muy calificada debido a la naturaleza de las tareas que se deben desempeñar, por lo tanto, la importancia que se le da a este factor es muy poca por parte de la empresa, pero en realidad la experiencia en las obras de construcción es esencial para alcanzar una buena productividad en todos los ámbitos.

Generalmente el comportamiento de la mano de obra en las empresas constructoras se caracteriza por una alta rotación, de modo que la experiencia que se gana en cada proceso se pierde al final de cada ciclo del proyecto, cuando el trabajador se liquida o simplemente se va de la empresa. De forma similar se desarrolló el proyecto de ESPH, la rotación de personal fue alta, la selección de personal no tomó preferencia de trabajadores con experiencia por ejemplo albañiles, carpinteros, operarios, este problema fue visible por parte de los subcontratistas de armadura y obra gris los cuales contaban con gran cantidad de peones muchos de ellos sin experiencia en la construcción, la inexperiencia del personal se evidenció en una baja productividad y una deficiente calidad estética y

estructural en el producto final. Los errores constructivos fueron comunes debido a la impericia antes mencionada provocando pérdidas excesivas de material y tiempo inefectivo de trabajo que comprometen la programación de las tareas. Las constructoras deben de considerar la importancia de contratar y exigir a los contratistas personal capacitado para la realización de las tareas, si se desea cumplir los plazos programados y ofrecer el producto final con la calidad solicitada y al menor costo posible.

Problemas de desperdicio material

Como se indicó en el capítulo primero del presente documento, es una necesidad inexcusable prevenir cualquier clase de desperdicio en obra. Las actividades que componen los procesos deberían contribuir al valor final pretendido en ellos; en la práctica, sin embargo, sólo algunas de ellas con frecuencia, muy pocas lo aportan realmente.

En el proyecto en análisis se presentaron varios problemas que provocaron desperdicio, tanto de tiempo como de materiales entre los cuales se pueden mencionar: desperdicio producto de errores constructivos, de tiempo por causas en espera de material, falta de información y asignación de tareas a los trabajadores. Para el proyecto ESPH se realizó un estudio sencillo del impacto sobre el costo producto de desperdicios, el cual ronda el 2 % del costo total del proyecto, un porcentaje muy alto considerando que se trata de un proyecto relativamente corto.

La productividad de mano de obra en el proyecto almacén ESPH para la tarea pega de bloques ronda entre un 60% -70% según análisis de los cuadros 6 y cuadro 7, (análisis Work Sampling y Five minutes Rating respectivamente) un valor deseablemente bajo, pero alto con respecto a los índices de productividad que se manejan para el sector construcción donde se habla entre un 50% - 60% de productividad general. Esta medida de productividad tomada en el proyecto ESPH parece ser alta pero no significa que el rendimiento también lo sea, este punto se ampliará posteriormente en el presente análisis.

Falta de información, metodología y procesos por emplear.

Desperdicio Información Falta o exceso de información; también corresponde al mal uso que se haga de ella.

Una planificación resulta necesaria antes de ejecutar las tareas de construcción. Es común que durante los procesos constructivos el Maestro de obras y el Ingeniero encargado definan el modo de operación con que planea desarrollar la obra, muchas veces estos planes no se comunican oportunamente a los trabajadores, incluso los trabajadores realizan las tareas sin saber siquiera que es lo que están realizando y la importancia que tiene esa tarea para el flujo del proyecto como tal.

Esto podría considerarse como un problema de comunicación, de hecho en el proyecto en estudio, nunca en etapas primeras o durante el desarrollo de la obra se realizó una reunión con los contratistas para definir situaciones como: el flujo de actividades que se seguiría en el proyecto, no se identificaron las rutas críticas, ni se asignaron responsabilidades directas, tampoco se pactaron reuniones de control de avance, no se explicó ni se dio a conocer el modo de trabajo de la empresa, inclusive no se informó de las fechas límites de entrega de cada actividad, según el cronograma del proyecto.

Prácticamente lo que se busca mediante la planificación es solucionar que las líneas de trabajo se uniformicen, que cada trabajador sin importar su rango jerárquico en el proceso se identifique con sus tareas y se sienta a gusto con el aporte que está dando al proyecto, además la planificación busca identificar en etapas tempranas potenciales problemas que perjudiquen el proceso y la calidad.

Los procesos de construcción son muy frágiles en el sentido que muchas variables giran alrededor, desequilibrando las líneas de flujo productivo, siendo así necesario una planeación y un seguimiento para prevenir situaciones aleatorias y convertir las etapas de los proyectos en ciclos de control y mejora continua.

Problemas con el alcance y correcciones de planos constructivos.

Las correcciones en planos y especificaciones de materiales son constantes en los proyectos de construcción. Además, garantizar que los materiales solicitados en planos y especificaciones sean los empleados en la obra para evitar problemas de calidad, de modo que se ajuste precisamente al alcance impuesto en los documentos del proyecto. La empresa desarrolladora del Almacén en cuestión utiliza formularios de aprobación de materiales y equipo (FAME), la inspección (cliente) recibe estos formularios donde se especifica el tipo, calidad, modelo y actividad para la que está destinado el material. El flujo de proceso en varios momentos del proyecto se vio afectado debido a que no se presentaron estos formularios con tiempo suficiente de anticipación a la inspección o cliente para la aprobación de materiales, de modo que, el flujo de procesos se compromete. Idealmente se debería de identificar de antemano los materiales esenciales que se deben someter a aprobación para contar con una holgura que no perjudique el flujo continuo de trabajo.

Manejo de caja chica

Generalmente los proyectos cuentan con una caja de chica mensual para solventar los gastos inmediatos y urgentes que presente la obra en construcción. En realidad el monto destinado, es una suma pequeña de dinero, pero que resulta muy útil para la compra de insumos necesarios y urgentes.

En este caso la idea es identificar cuales materiales caben dentro de estos gastos de caja chica, ya que es común que se invierta este fondo en materiales grandes y de mucho costo, que consumen el subsidio del proyecto prácticamente inmediato a su llegada al proyecto. Esta situación se presentó en el proyecto de la ESPH, donde al cabo de dos días se consumió por completo el monto de caja chica en la compra de materiales para una segunda acometida eléctrica que al final no se instaló. Poco tiempo después se presentó la necesidad de accesorios de tuberías de agua potable, iluminación, clavos de acero y alambre, la falta de estos materiales

menores provocó un atraso aproximado de una semana en el trazado de ejes de pared, colocación de formaleta de madera, construcción de bodegas y otros. Situaciones similares ocurrieron durante todo el proyecto por escases de materiales pequeños como alambre para amarras de armadura, herramienta menor como martillos de hule, piquetas, tenazas, materiales y equipo de muy bajo costo, que por su ausencia implica un aumento en el costo de la obra sin agregar valor ninguno al producto final.

Lenta respuesta de proveeduría de insumos.

Desperdicio Esperas: Periodo de producción nula, en el cual el operador, la máquina, esperan algo para seguir trabajando.

Para garantizar un flujo continuo de trabajo es esencial que la llegada de material, tenga una respuesta oportuna, que las líneas de producción no se vean afectadas una vez que el insumo material o mano de obra se atrasa. El ciclo de construcción por defecto también se afecta, este problema fue constante en el proyecto en estudio y las causas podrían dividirse en dos: respuesta lenta de la proveeduría de la empresa y solicitudes de material con poco tiempo de respuesta de la proveeduría. (Ver figura 3)

Si los materiales no entran al ciclo o línea de flujo en el momento preciso la programación de las tareas se perjudica, dando como resultado un incremento en el tiempo destinado para realizar la tarea, lo cual evidentemente se refleja en un aumento en el costo de la actividad.

De igual forma sucede con los equipos y maquinaria que se envían a las obras sin darles el mantenimiento adecuado. En el caso del almacén ESPH, se puede mencionar los siguientes: vibradores que llegaron dañados, la mezcladora de concreto estuvo en funcionamiento durante pocos días, luego aproximadamente durante un mes su funcionamiento fue intermitente por un problema en los engranajes y la guía de rotación de la máquina.

Por otra parte el combustible para equipos esenciales como Back Hoe, compresor, batidora de concreto, compactadoras “sapos”, no llegaba de manera oportuna al proyecto, provocando que se mantuvieran paradas,

corriendo su costo por alquiler y los atrasos en el cronograma programado.

Todos los factores anteriores encontrados durante la construcción del Almacén ESPH evidencian que hay situaciones que comprometen el proceso de construcción. Estos factores por separado parecen inofensivos, pero una vez que se colocan en un solo sitio se logra visualizar lo frágil que puede llegar a ser una obra de construcción si no se tiene una planificación adecuada, si no se siguen los planes del proyecto, si no se garantiza el material necesario en el momento oportuno, si no hay comunicación y capacitación y por último, pero no menos importante, si no se cuenta con un compromiso del equipo de trabajo para cumplir las metas dispuestas.

Las empresas constructoras en su mayoría presentan los mismos problemas, y si es posible identificar todos estos conflictos anteriores (como se realizó para este proyecto almacén ESPH), también es posible solucionarlos y prevenirlos para siguientes proyectos, es en este punto donde la filosofía Lean puede aportar a partir de este diagnóstico de puntos débiles, un sistema de control total, identificado con la necesidad de reducción de desperdicio, fluidez de procesos, planificación, control de tiempos, costo, calidad y de mejora continua de procesos.

Actividades y tareas afectadas

Como se describió anteriormente, una serie de problemas forman parte de los procesos constructivos inclusive en empresas con un buen camino de experiencia ganado en el sector de la construcción.

Las empresas constructoras con el pasar de los años acumulan experiencia técnica, generando un conocimiento importante. Este conocimiento y metodologías son aplicadas en los siguientes proyectos independientemente de los resultados que hayan tenido el proyecto anterior, es decir, si el proyecto acabó bien se aplican los mismos criterios en el siguiente, aun si se vuelve a caer en los mismos errores que el primero. La visión de las empresas en Costa Rica y en la mayoría de las empresas constructoras del mundo, está únicamente enfocada al control

del costo del proyecto, dejando muchos otros factores sin considerar y que de alguna manera golpean el costo presupuestado en un porcentaje que inclusive puede alcanzar un 30 % por concepto de desperdicio (referirse a marco teórico pág. 4 del presente documento).

Los problemas en la construcción son eminentes por estar compuestos por actividades y flujos de tareas que pueden ser afectadas muy fácilmente, como por ejemplo el clima. Pero también hay muchos otros conflictos que afectan el flujo de actividades que no son parte de problemas meteorológicos y que de manera inconcebible no son apreciadas por los encargados de obra, cayendo proyecto tras proyecto en las mismas dificultades y tropezando en las mismas “piedras”, un ejemplo claro es la distribución del sitio de trabajo, situación que no tiene mayor importancia para las empresas, no se planifica y si se planifica no se cumple, pero la incógnita que surge es si en algún momento los encargados de la obra han pensado que una mala distribución del sitio provoca a corto o largo plazo situaciones, como por ejemplo : dificultad de transporte de materiales, problemas con la carga y descarga de materiales, desplazamientos excesivos de la mano de obra para acarrear materiales, pérdida de material por deterioro, pérdida por robo de material, cambio de lugar de materiales de un sitio a otro para dar acceso o para resguardar otros materiales. Todos estos conflictos representan un costo, que evidentemente no forma parte del presupuesto de la obra, y desde el punto de vista económico es dinero que la empresa deja de percibir.

Sin importar el tipo de problema sea grande o pequeño, siempre tendrá un impacto en el flujo de actividades por el vínculo que existe entre ellas, es decir, de una u otra forma si se afecta el flujo para una actividad o tarea en específico todas las demás del ciclo se ven perjudicadas, desencadenando una pérdida de tiempo y terminando por afectar el presupuesto del proyecto.

Como alternativa se realizó un análisis 80-20 que garantiza de forma precisa cuales actividades y sus tareas resultan verdaderamente críticas para el proyecto.

Análisis 80-20

El análisis 80-20 aplicado al proyecto almacén ESPH pretende identificar las actividades

generales y de mayor peso sobre el costo del proyecto, manejando la totalidad de los actividades como un inventario, de modo que una vez ordenadas según su importancia en costo, se tomen decisiones enfocadas en la administración de los recursos, la planificación de los procesos, el desglose y diseño de metodologías de trabajo, toma de decisiones efectivas y en el tiempo preciso, como solución a las problemáticas planteadas en el apartado anterior de este documento.

El objetivo principal en este sentido es identificar las actividades críticas del proyecto, para luego analizar la productividad y la fluidez con que se ejecutan en la obra bajo los sistemas tradicionales de la empresa desarrolladora del proyecto, en este caso AP constructora.

El proyecto ESPH está desglosado según su tabla de pagos en 103 actividades (ver apéndice 4), de las cuales solamente 20 de estas tienen un peso del 80,5% del costo del proyecto (ver cuadro 2.), también se denomina a este método “La ley del menos Significativo” y es en este sentido en que se vuelve aplicable el análisis a los procesos de construcción, ya que generalmente son muchas las actividades involucradas en un proyecto, cada una con características y recursos distintos, resultando impráctico para el encargado del proyecto diseñar un flujo de proceso para cada actividad, además de que muchas de las actividades tienen un peso menos significativo. Es importante anotar que no se trata de desatender las actividades que se encuentran fuera del 20% principales, ya que como se ha descrito anteriormente la construcción se define como una línea de producción donde la segunda actividad depende de la calidad, tiempo y costo de la primera. Las 20 actividades principales serán la guía de flujo del proyecto y las actividades menores tendrán que integrarse a este flujo y no como comúnmente ocurre en la construcción, donde una actividad de bajo costo provoca un “cuello de botella” para el proceso, provocando atrasos en actividades de muy alto costo y de tiempo limitado para su ejecución.

Las actividades identificadas tienen mucha correspondencia con las actividades del cuadro 3 (actividades de ruta crítica), al juntar estas dos selecciones, es decir las actividades críticas en costo- tiempo, la planificación de la obra será más detallada y muy cercana a ruta ideal a seguir.

Análisis de ruta crítica

La metodología seguida por las empresas de construcción tradicionalmente para el control de tiempos, es mediante el control de la ruta crítica del Cronograma General del Proyecto, el cual está establecido en los tiempos asignados para la ejecución de las tareas. Pero más que con el objetivo de planeación del flujo de actividades, el cronograma de trabajo comúnmente se realiza en etapas de presupuesto del proyecto para estimar un posible flujo de caja. En resumen, dicho cronograma de trabajo se estructura asignando duraciones según la experiencia del Ingeniero programador y sin un análisis minucioso de los flujos de proceso que convienen al proyecto, dichos tiempos no siempre reflejarían los periodos necesarios para alcanzar las metas dispuestas, volviendo falsa la ruta crítica.

Esta situación es tan común en la construcción que a partir del incumplimiento de la primera actividad del cronograma, el Ingeniero y encargados se desligan del cronograma, provocando (tal como sucedió en el proyecto de la ESPH) la dificultad de actualizar o reestructurar los tiempos de los programas de trabajo una vez que el proyecto se sale del plan inicial.

Una vez identificadas las actividades críticas en costo (Ver cuadro 2) y la ruta crítica en tiempo (Ver cuadro 3), se efectúa un tercer análisis con el objetivo de seleccionar las actividades que sean críticas tanto en costo como en tiempo (cuadro 4). Dicho análisis refleja que muchas de las actividades de la ruta crítica del cronograma de trabajo coinciden con las 20 actividades de mayor costo del proyecto según el análisis 80-20. Finalmente se identificaron 8 actividades claves del proyecto con un peso de 31,8 % del costo total del mismo (ver tabla 4).

La programación general de los proyectos se realiza con base en las actividades principales, dejando sin consideración las tareas que lo componen. En la ejecución de este proyecto en específico y en la mayoría de las obras de construcción no se identifican de antemano las tareas y los recursos necesarios para realizar los trabajos, exponiendo los procesos a una incertidumbre de que se presenten inconvenientes de los muchos que se han discutido anteriormente.

Las actividades están compuestas por una serie de tareas, que están ligadas unas con otras y de las que se espera alcanzar la calidad

especificada, en el tiempo destinado y con el menor costo posible. Las tareas antes mencionadas, se identificaron durante la construcción del almacén y como ya se amplió en varias ocasiones, se encuentran envueltas en una serie de problemas que reducen la fluidez de los procesos. Es este sentido, un diseño de los flujos además de ordenar las tareas en una línea lógica de trabajo, también permite identificar los recursos necesarios para cada tarea, e inclusive desglosa las actividades para identificar los puntos que se deben de mejorar en el proceso, generando un aprendizaje y procurando una mejora continua.

Diseño de flujo de procesos.

El diseño de los procesos mediante un flujo de trabajo es una técnica poco usada por las empresas de construcción, inclusive así se demostró en el proyecto ESPH donde la planificación de flujos de trabajo fue deficiente. El problema inicia ya que la empresa entra de lleno con las actividades sin considerar el ciclo de trabajo más conveniente, lo cual se refleja a corto plazo en errores constructivos, flujo lento de trabajo, falta de material, falta de mano de obra, entre otras, situaciones que arriesgan los fines del proyecto.

De las actividades críticas del proyecto ESPH presentes en el cuadro 4, se diseñan los flujos de proceso. Los flujos obtenidos afirman que los procesos empleados en el proyecto no fueron los más indicados. Los procesos utilizados no tuvieron un orden lógico, ni una asignación específica de los insumos para cada tarea, en el cuadro 7 se muestra el análisis de productividad según el método Five Minute Rating para la construcción de paredes de mampostería, en el mismo se observa que no se tiene un orden de procesos, es decir los trabajadores no siguen una secuencia de trabajo donde se asignen las tareas específicamente a cada trabajador sino que todos trabajan en las mismas tareas al mismo tiempo provocando problemas de flujo de trabajo. Por este sentido se podrían justificar los atrasos y los problemas de fluidez ampliamente comentados

en este documento y específicamente para la pega de bloques de concreto.

Los procesos constructivos no son más que líneas de flujo de trabajo similares a las líneas de producción de la industria. En este sentido, en una fábrica de automóviles cada proceso da como resultado un elemento, este elemento debe de garantizar la calidad suficiente para que el siguiente pueda ensamblarse y dar como resultado el artículo deseado. Para que este proceso sea eficiente económicamente, debe realizarse en el menor tiempo posible, con el menor desperdicio, con la calidad necesaria y al menor costo.

Las líneas de producción son sistemas de procesos que controlan el desarrollo de las tareas para cada actividad, de modo que los insumos (materiales o materia prima), las herramientas y equipos lleguen a la línea de flujo en el momento indicado de modo que no haya tiempo de espera entre cada proceso (Ver figura 5) De esta forma, debe de garantizarse en los procesos constructivos un flujo continuo. Es importante aclarar que en la producción industrial los mecanismos son sistemáticos y ejecutados por máquinas en la mayoría de los casos, mientras que en el proceso de construcción los trabajos son básicamente manuales, en este sentido la aplicación de los conceptos Lean en la construcción para asegurar el flujo está más vinculado con garantizar el flujo de materiales y diseñar los flujos de procesos de antemano para identificar cualquier problema que pueda afectar el proceso.

Se aconseja en este sentido, la utilización de simulación de procesos mediante flujos para la planificación de proyectos, de modo que se tenga una referencia de las líneas por seguir, evitando que haya tiempos intermedios entre tareas y se pierda el flujo continuo de trabajo. Además el sistema permite proyectar la necesidad de insumos y mano de obra para efectos de estimación de mano de obra y garantizar el flujo continuo de material en el momento preciso, evitando escases de material o por el contrario inventarios grandes de material en obra que ocupan gran cantidad de espacio en el sitio y bodegas, y que además entorpecen el desplazamiento y movilización de maquinaria y mano de obra.

Productividad y métodos aplicados

Los métodos de medida de productividad en campo se aplicaron a las actividades críticas del proyecto ESPH (cuadro 4), los métodos aplicados fueron Work Sampling, Five minute rating y Crew balance. Los tres anteriores, son métodos de control de productividad de mano de obra, enfocados en analizar la eficiencia de trabajo. Durante la toma de datos de campo, se encontraron algunas dificultades con la aplicación del método, como las siguientes: las tres metodologías tienen la particularidad de archivar las actividades que los trabajadores realizan cada cierto tiempo, la toma de datos es visual, de modo que puede darse que cada vez que se tome una observación, el trabajador este laborando normalmente, pero el rendimiento alcanzado para la tarea sea relativamente bajo. Situación que se presentó en el análisis de productividad para la actividad "paredes de mampostería", donde según los métodos de productividad Work sampling (cuadro 6) y five minute rating (cuadro 7) se obtuvo un 69% y 63% de productividad respectivamente, esta productividad es alta con respecto a la productividad conocida para el sector construcción, donde se especula que está entre un 50%-60%. La discordancia surge cuando se analiza el rendimiento de esta misma tarea en el periodo de toma de datos, para la tarea pega de bloques. Como ejercicio extra se midió el rendimiento de pega de bloques de concreto para compararlo con la productividad de mano de obra obtenida anteriormente, el resultado fue que de tres trabajadores asignados para esta labor, se colocaron 48 bloques de concreto desde la 7:50 am del día 02/02/12 hasta las 11:00 am de este mismo día, lo que equivale a un rendimiento de 0,48 m²/HH, es decir se colocaron aproximadamente 5,95 bloques por hora, un rendimiento sumamente bajo según los criterios consultados al maestro de obras e ingeniero residente. De esta forma que concluye que los métodos de medida de productividad pueden no representar datos verdaderamente precisos y confiables para diagnosticar un proceso de alta o baja productividad.

Otra de las dificultades en la aplicación de estas técnicas de medida de productividad, es la dificultad de toma de datos, ya que requiere de toma continua de las tareas de cada miembro de la cuadrilla de trabajadores por analizar y por periodos largos de tiempo, volviéndose un método difícil de aplicar. Para aplicarse como forma de control de productividad tendría que colocarse una persona específicamente midiendo y analizando el comportamiento de la mano de obra, e inclusive una persona podría representar poco personal para evaluar la productividad de las actividades, debido a que muchas de ellas se traslapan. Además bajo estas condiciones el método se vuelve impráctico y costoso.

Los procedimientos Lean, están vinculados con prácticas sencillas, que faciliten el proceso de construcción, por lo que no se aconseja el uso de los métodos Work Sampling y five minutes rating.

En el caso del método Crew balance la plantilla diseñada (ver cuadro 8 y figura 2) permite evaluar a los trabajadores de una manera más sencilla. Los métodos Work Sampling y five Minutes Rating necesitan de un tiempo largo y constante de toma de datos, mientras que el Crew Balance por su estructura gráfica y sistemática permite evaluar la productividad de los trabajadores obteniendo de manera puntual las causas que afectan el flujo de trabajo de los mismos, para una eventual corrección.

Implementación de los procesos LEAN.

La aplicación de la metodología Lean, puede significar para una empresa constructora una ventaja competitiva, que otorga resultados importantes en el corto plazo. Muchos de los problemas de la construcción pueden disminuirse aplicando los criterios de esta multidisciplinaria, ya que, muchos de ellos se deben a una planificación deficiente y a flujos discontinuos de trabajo. Tal como se presentó en la construcción del almacén ESPH.

Muchos de los problemas presentes en el proyecto en análisis y en futuros proyectos, se pueden reducir mediante el uso de herramientas

y procedimientos que respaldan a la filosofía LEAN. De este modo se plantea manejar la administración de las obras de construcción en las siguientes tres etapas: **Demanda, Flujo continuo y Nivelación**, la primera ya ha sido extensamente definida anteriormente, de modo que se hará énfasis en las dos últimas etapas.

Flujo continuo:

En etapas primeras del proyecto se aconseja un planeamiento mediante un análisis de costo y tiempo según las plantillas de análisis 80-20 que identifiquen las actividades de mayor costo del proyecto, y además una programación precisa y planificada del cronograma general del proyecto, de modo que se establezca una ruta crítica verdadera. Verdadera, en el sentido que los flujos y precedencias de las tareas de verdad reflejen el plan óptimo por seguir en el proyecto.

Una vez identificadas estas actividades críticas se procede a diseñar los flujos de tareas para las actividades según sea necesario, de modo que las actividades con mayor peso en costo y restricción en tiempo, estén completamente desglosadas, con el objetivo de prevenir problemas al momento de ejecutar los trabajos, asignar la mano de obra necesaria para la ejecución de las tareas y teniendo un control de los materiales requeridos en el momento que entran al flujo de trabajo.

En la plantilla de diseño de sitio se distribuye de manera sencilla el sitio de trabajo del proyecto evitando problemas de transporte de materiales, acarreo excesivo de materiales, cambios de lugar de materiales etc. La plantilla considera todas las posibles instalaciones necesarias para organizar la obra y garantizar un sitio de trabajo completo y organizado. Los diseños de sitio por lo general solo consideran las bodegas, las oficinas y los cerramientos, pero muchos otros elementos son esenciales de considerar para mantener un sitio de trabajo completo, organizado y limpio de desperdicios. Las construcciones tienen la fama de ser desorganizadas y sucias, la idea es mantener el sitio de trabajo lo más ordenado posible, para evitar problemas de movilidad de personal y posibles accidentes. En el proyecto ESPH se realizó un plan de distribución del sitio de la obra, donde solo se consideraba las bodegas, los contenedores de oficinas, los silos de agregados y centro de acopio, dejando por fuera elementos

como temporeras, basureros, casetas para el guarda, rampas, accesos, parqueos temporales, cabañas sanitarias y depósito de materiales pesados.

Como parte de la planificación, se considera esencial que cada trabajador conozca sus responsabilidades y el personal que tiene a cargo. Esto con el fin de evitar confusiones entre las actividades de las cuales es responsable cada trabajador del proyecto. En el almacén ESPH quedaban puntos sin control, por que el Director del proyecto se confiaba del Ingeniero residente y viceversa. Para evitar esta situación en proyectos futuros, se diseñaron organigramas con las funciones de los principales encargados del proyecto: Ingeniero Residente, Director de Proyecto, Proveedor, Administrador de obra, Maestro de obras e Ingeniero de Seguridad Laboral. Esta información debe ser de conocimiento de cada uno de los anteriores, de modo que todos tengan conocimiento de sus responsabilidades y de los encargados y subordinados en la obra. (Ver figura 6, figura 7 y Apéndice 3).

El plan tres semanas surge como una necesidad de controlar el proceso, desde el punto de vista del tiempo y del alcance de la obra. El objetivo principal de los principios Lean es reducir posibles factores de afecten el flujo continuo, con el plan tres semanas la planificación es tal que el ingeniero y los encargados de la obra enfocan su atención en el cumplimiento de tareas específicas. El plan tres semanas permite asignar el porcentaje de avance esperado para cada actividad semanalmente, así como el porcentaje de avance alcanzado en dichas semanas de modo que el encargado de obra podrá identificar el comportamiento de los procesos y hacer mejoras para aumentar la productividad de la siguiente semana. Este plan tres semanas permitirá además asignar responsables directos a cada actividad de modo que se hará una distribución más equilibrada de las tareas y cada trabajador o contratista estará identificado con una responsabilidad y con una meta que alcanzar.

Debido al problema grande de proveeduría de materiales al proyecto, tal como se evidencia en el cuadro 9 y la figura 3, donde la mayoría de los materiales llegaron a la obra días después de los esperados, se decidió elaborar una plantilla de respuesta de material donde se registre la fecha de cada boleta de solicitud de

material a proveeduría. Además, a cada material solicitado se le asigna un tiempo esperado de llegada al proyecto, de modo que la proveeduría tiene conocimiento de la urgencia del material y procure cumplir con las fechas indicadas y no afectar el flujo de proceso debido a escases de material (ver cuadro 9). Además la plantilla permite obtener un registro de las cantidades totales de material gastados en el proyecto (ordenando las filas con los filtros propios de la herramienta), es decir, si se desea saber que tanto acero se ha pedido, fácilmente se puede obtener la información. Otras de las facilidades de la herramienta es que genera un gráfico de respuesta de proveeduría, para tener un concepto general de la fluidez con que ingresa el material al proyecto. (Ver figura 3)

Nivelación de procesos

Si bien es cierto, la planificación es esencial en la administración de proyectos de construcción, el seguimiento y el control continuo es su complemento. De esta manera, se plantean posibles soluciones para el seguimiento, programación y mejora continua de los procesos.

La propuesta está enfocada en el problema de manejar los tiempos de todas las actividades con un cronograma general del proyecto. La cantidad de actividades en que se desglosa un proyecto dificulta el control y la verificación del cumplimiento de las tareas, para solucionar esta situación se recomienda realizar programas por tres semanas que permitan al Ingeniero y encargados de la obra identificar con facilidad las metas por alcanzar, la plantilla del plan “tres semanas”, genera un diagrama de Gantt de seguimiento (ver figura 9) para llevar el control de las fechas de inicio y fin estimadas para cada actividad o tarea. La idea del plan “tres semanas”, es identificar hitos propios de las actividades programas y asignar responsables, además cuenta con un sistema donde se define la cantidad de trabajo esperado por alcanzar semanalmente y una segunda donde se ingresa cada semana el avance real alcanzado (ver cuadro14), de esta forma, cada semana se tendrá un parámetro de comparación entre el avance proyectado y el avance alcanzado realmente para cada una de las tareas del plan “tres semanas”. Como necesidad para que el plan “tres semanas” funcione positivamente, debe de

comprometerse su cumplimiento, además debe estar listo con ocho días de anticipación del anterior, es decir al inicio de la tercera semana del proyecto, ya debe de iniciarse la elaboración del segundo plan “tres semanas”, de modo que haya posibilidad de planificar de forma precisa el avance necesario para las siguientes tres semanas.

Para aprovechar estos valores comparativos de avance esperado y alcanzado semanalmente se propone realizar una reunión corta cada inicio de semana con los encargados del proyecto y los subcontratistas involucrados, donde se les expongan los avances alcanzados en la semana anterior. De modo que si el rendimiento es menor que el esperado se identifiquen los problemas que se deben solucionar con la mayor brevedad posible para que no se repitan en la siguiente semana. Si por el contrario el avance alcanzado es mayor que el esperado de igual manera procurar que la siguiente semana sea aun más productiva que la anterior generando un proceso de mejora continua. El cuadro 16, forma parte de los resultados arrojados por el plan “tres semanas”. El objetivo principal es tener un registro del rendimiento alcanzado semanalmente para cada actividad o tarea incluida en el plan tres semanas, este cuadro generara una especie de base de datos de rendimiento, que servirá como referencia para programar con mayor certeza actividades similares en proyectos futuros. Estos registros serán útiles en las siguientes programaciones de los cronogramas de trabajo. Este ciclo de medida de la productividad irá dando un resultado cada vez más aproximado de la duración de las actividades, evitando el uso de valores dictados por la experiencia de los ingenieros que muchas veces no son representativos a la realidad, y además con la aplicación de los planes proyecto tras proyecto se irán perfeccionando los procesos constructivos hasta eliminar los desperdicios y aumentar la efectividad.

Conclusiones

1. La aplicación de los principios Lean a pesar de ser una técnica propia de la administración de procesos industriales, puede significar una alternativa fácilmente aplicable a los procesos de construcción debido a la similitud en las líneas de flujo de proceso con que se ejecutan las tareas.
2. La aplicación de los principios Lean, requieren de un diagnóstico desde abajo, es decir, identificar los problemas presentes en los proyectos, evitando problemas en la calidad, tiempo y costo.
3. Las problemas constructivos presentes en el proyecto almacén ESPH (cuadro 1), representan las “demandas” que la empresa AP constructora, debe eliminar para iniciar con el proceso de implementación de los procesos Lean en su sistema de trabajo.
4. Una vez identificada las demandas la empresa AP constructora debe garantizar el flujo continuo de trabajo y compromiso de mejora continua.
5. Los efectos de los problemas de flujo (demandas) presentes en el proyecto ESPH concuerdan con los desperdicios presentes en las empresas manufacturas, entre los desperdicios principales destacan: Movimiento de materiales y transporte, productos defectuosos o retrabajados, movimientos, procesos innecesarios entre pasos del proceso, tiempos de esperas y problemas de información.
6. Los procesos de construcción están compuestos generalmente por una cantidad grande de actividades, que se ejecutan simultáneamente. La idea de la presente investigación es identificar una ruta crítica de tiempo – costo, que permita apuntar a la planificación y mejora de las actividades más sensibles e importantes del proyecto.
7. Como criterio de selección y análisis inicial de proyectos se recomienda un análisis tanto de costo como de tiempo, dando origen a una ruta crítica bajo estas variables. Estas actividades engloban un porcentaje alto del costo del proyecto y representan restricciones con el tiempo, la idea no es desacreditar las demás actividades, sino vincularlas de manera oportuna al flujo de la columna vertebral costo-tiempo del proyecto, se aconseja realizar un análisis 80-20 y una selección de las verdaderas actividades en ruta crítica según el tiempo de proyecto, tal como se propuso para el proyecto ESPH.
8. Tomando como referencia los resultados de productividad obtenidos para el proyecto ESPH y el atraso en la fecha de entrega del mismo, se deduce que la baja eficiencia conduce a un aumento en el costo del proyecto sin aumentar el valor agregado de la obra.
9. La proveeduría de material y equipos en la construcción del proyecto en estudio fue lento, y las holguras de los pedidos por parte del encargado de obra fue muy corto, de modo que el ineficiente flujo de material al proyecto causó problemas de atrasos por falta de insumos.
10. La herramienta de control de proveeduría de materiales (cuadro 9) desarrollada en esta investigación, permitirá controlar el flujo de materiales al proyecto, mejorando los tiempos de procesamiento de los mismos y garantizando el cumplimiento de los tiempos estimados para cada tarea.
11. La herramienta de diseño de sitio forma parte de la etapa de “Flujo continuo” dicha plantilla

busca planificar antes de entrar en la construcción, ordenado los insumos de la construcción y evitando el “desperdicio”.

12. El diseño de flujos de procesos para las tareas que componen una actividad, permiten identificar puntos clave en el ciclo de construcción, además de que admite asignar los recursos (insumos) en el momento indicado y en las cantidades necesarias, evitando el desperdicio y optimizando el proceso tal como se hace en las líneas de producción del sector industrial, de este modo se aconseja realizar en cada proyecto futuro el diseño de las líneas de flujo de procesos evitando potenciales problemas.
13. El control de las actividades críticas en costo-tiempo permiten controlar el peso máximo del proyecto, además según la teoría de la ley de Pareto una vez ejecutados los flujos de las actividades principales las demás actividades (menos representativas) tenderán a ordenarse por si solas.
14. La productividad obtenida para las actividades críticas mediante los métodos Work Sampling, Five minute Rating y Crew balance arrojaron un valor de productividad alto que no es congruente con el rendimiento real de las cuadrillas, los métodos anteriores son muy puntuales en el sentido de que los trabajadores pueden observarse laborando pero su rendimiento general (eficiencia) es muy baja, tal como sucedió en el proyecto ESPH donde para la actividad “Paredes de mampostería” el rendimiento fue de 0,48 m²/HH, y la productividad asociada fue de 69%. Es necesario para que el ejercicio sea válido, tener parámetros de eficiencia de las tareas y así poder comparar si la productividad y la eficiencia en las tareas reflejan resultados similares.
15. El plan tres semanas planteado garantiza el cumplimiento de metas, además permite tener un control semanal de la productividad alcanzada, al mismo tiempo se podrá identificar las causas de rendimientos bajos, para dar una eventual solución y generar un ciclo de mejora continua.
16. Se propone la asignación de responsabilidades para cada uno de los involucrados en el proceso de construcción mediante organigramas de responsabilidad (figura 6), los mismos permiten tener un control del proyecto en todos los campos, evitando la aparición de problemas y actividades no controladas.
17. Los problemas en la construcción se repiten proyecto tras proyecto, pasando desapercibidos entre los encargados de obra y gerencia, la causa se debe a que el sector construcción no tiene la concepción de que todos los problemas asociados pueden prevenirse y evitarse, generando un proceso de aprendizaje y de mejora continua.
18. Los desperdicios en los flujos de trabajo por ausencia de planificación, genera costos extras que impactan el presupuesto en porcentajes verdaderamente altos, en el proyecto ESPH los costos producto de desperdicio y baja productividad rondaron el 2% del costo total del proyecto.
19. Los métodos Work Sampling y Five Minutes Rating, son difíciles de aplicar para una sola persona, ya que requieren de mucho tiempo en la toma de datos. En este sentido tendría que asignarse un equipo de varias personas dedicado exclusivamente a la toma de datos.

Recomendaciones

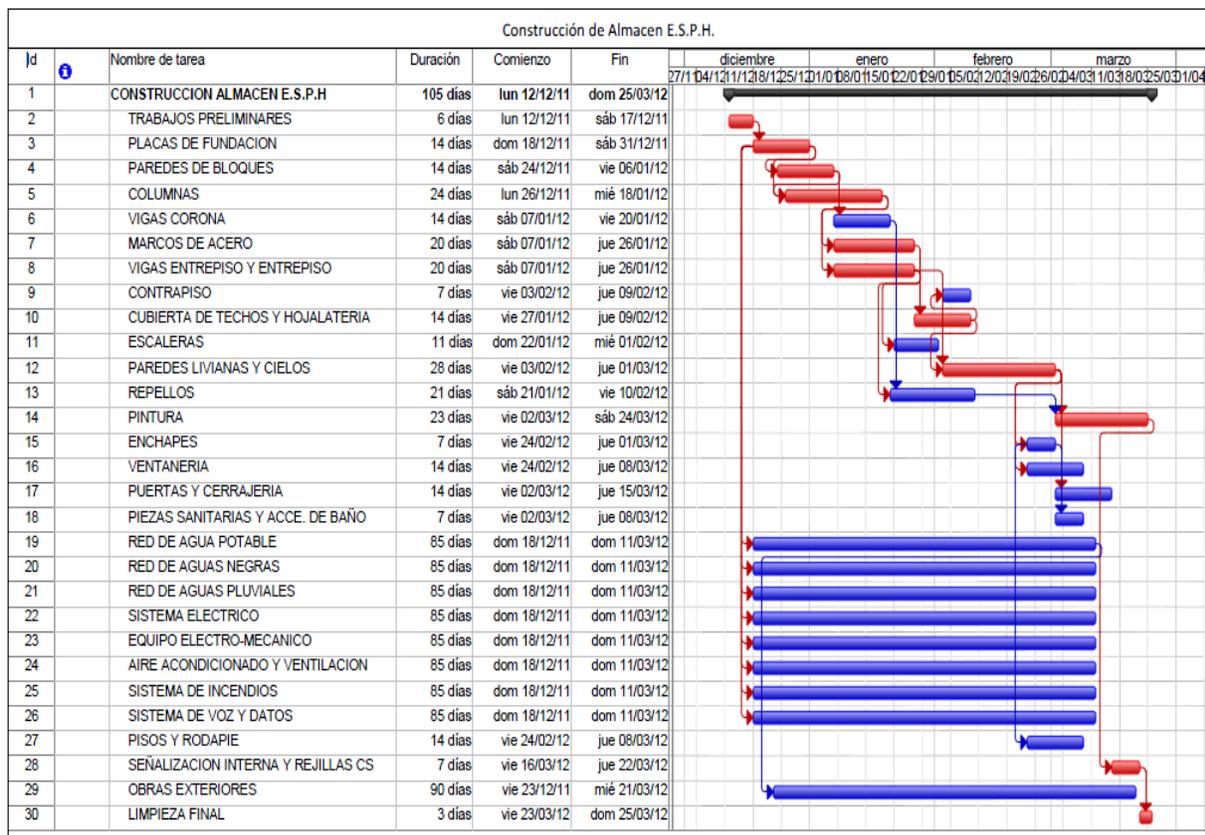
1. Los sistemas de administración enfocados en programar flujos continuos de trabajos, requieren de un compromiso de la empresa, la aplicación de los principios Lean es factible sin importar el tamaño de la empresa ni el servicio que ofrezca. Para aplicar estos conceptos es necesario que la empresa tenga conocimiento de que debe cambiar la manera de manejar los trabajos, ya que es común que las empresas se resistan al cambio.

oportuna de material, para que el mismo ingrese al ciclo de trabajo en la cantidad y momento preciso.
2. Es esencial invertir en la planificación de las obras, y considerar esta etapa como indispensable para el ordenamiento del proyecto y garantizar un flujo efectivo de trabajo.
3. Para efectos de control de productividad en obra por los métodos Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance, se aconseja asignar como mínimo dos personas exclusivamente en la toma de datos, debido a que se requieren largos periodos de observación de los procesos de construcción. Además algunas actividades se ejecutaran al mismo tiempo siendo imposible para una sola persona analizar dos o más procesos al mismo tiempo. Los Resultados de estos métodos son bastantes representativos pero es esencial para validar dichos resultados, comparar los mismos con valores existentes de rendimiento para las distintas actividades y tareas analizadas.
4. Uno de los objetivos principales de los principios lean es garantizar fluidez de material a la obra. La empresa AP constructora debe garantizar la llegada
5. Garantizar una mano de obra capacitada aumenta la productividad de los procesos de construcción y garantizan una mejor calidad del producto final.

Apéndices

Apéndice 1

La empresa AP constructora contaba con un cronograma de trabajo general para el proyecto. Dicho cronograma no fue muy útil ya que solamente el ingeniero Director de proyecto estaba al tanto de las fechas, hitos y actividades críticas.



Apéndice 2

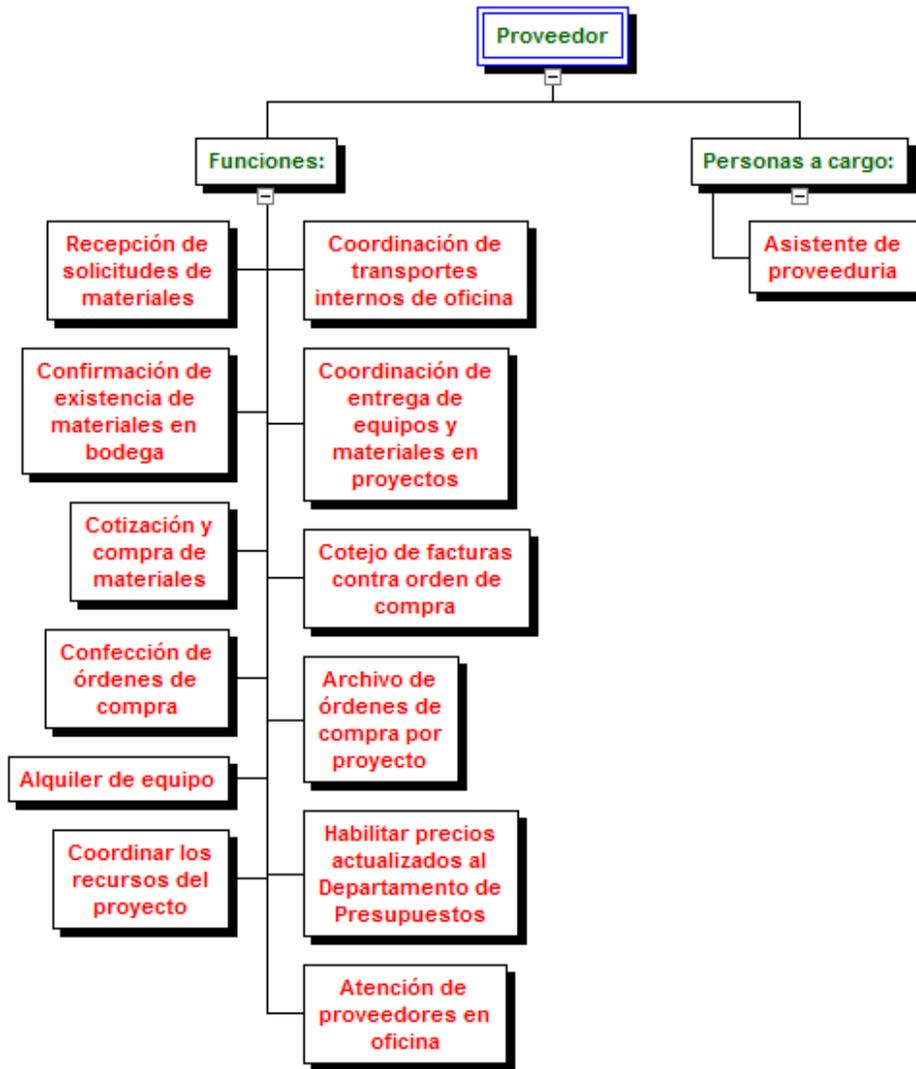
Los métodos de medida de productividad se aplicaron a las actividades descritas en el cuadro 4 del presente documento, a continuación se presenta un resumen de las productividades obtenidas, según los métodos Work Sampling, Five Minute Rating y Crew Balance.

PRODUCTIVIDAD DE LAS ACTIVIDADES CRÍTICAS DEL PROYECTO ESPH, SEGÚN LOS MÉTODOS WORK SAMPLING, FIVE MUNUTES RATING Y CREW BALANCE.						
			Productividad (%)			
ID	Actividad	Tarea	Work sampling	Five Minute Rating	Crew Balance	Encargado
1	TRABAJOS PRELIMINARES	Bodegas de materiales	81%	78%	82%	Cuadrilla general AP
2	PLACAS DE FUNDACIÓN	Colocación de armadura, formaleta y concreto	83%	83%	83%	Armaforme (contratista)
3	PAREDES DE BLOQUES	Pegado de bloques 15cm x20cm x40cm	69%	63%	66%	Armaforme (contratista)
4	COLUMNAS	Colocación de armadura, formaleta y concreto	85%	85%	86%	Armaforme (contratista)
6	VIGAS ENTREPISO Y ENTREPISO	Colocación de viguetas de entrepiso	88%	88%	85%	Armaforme (contratista)
7	CONTRAPISO	Colocación de Guías metálicas	94%	94%	97%	Sipco(contratista)
8	CUBIERTA DE TECHOS	Cubierta de techo	92%	92%	85,42%	Herson Araya (contratista)
PRODUCTIVIDAD PROMEDIO			85%	83%	84%	

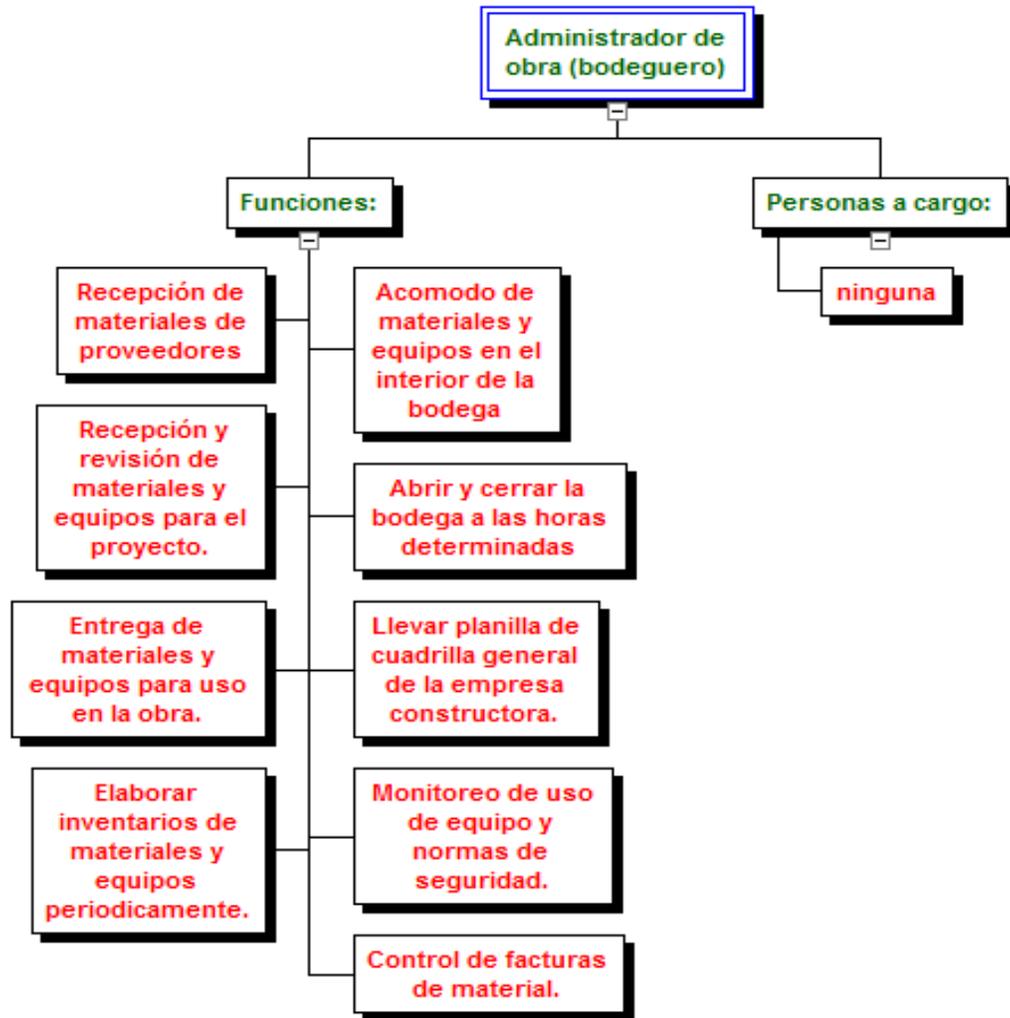
Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Apéndice 3

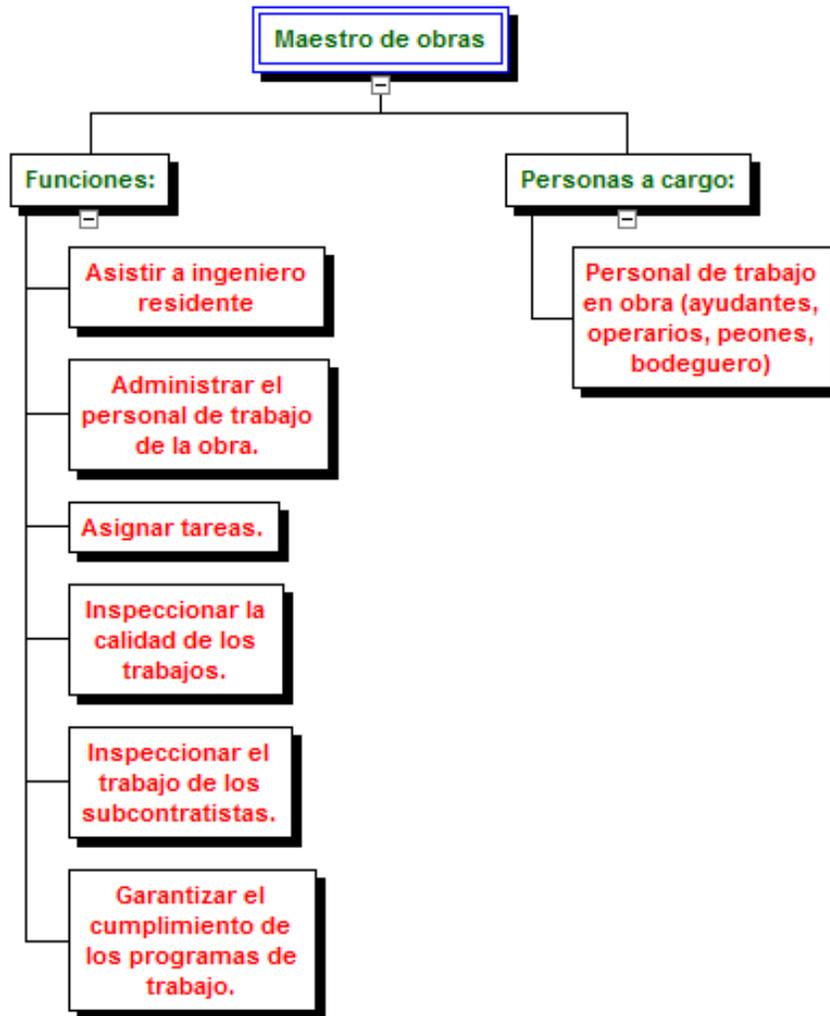
Es necesario que cada integrante del proceso constructivo esté consciente de sus responsabilidades en la obra, los siguientes esquemas muestran un organigrama con las funciones y los subordinados para los puestos más importantes en los proyectos de construcción:



Organigrama de funciones y personal a cargo del proveedor.
Elaborado con el programa WBS Chart Pro



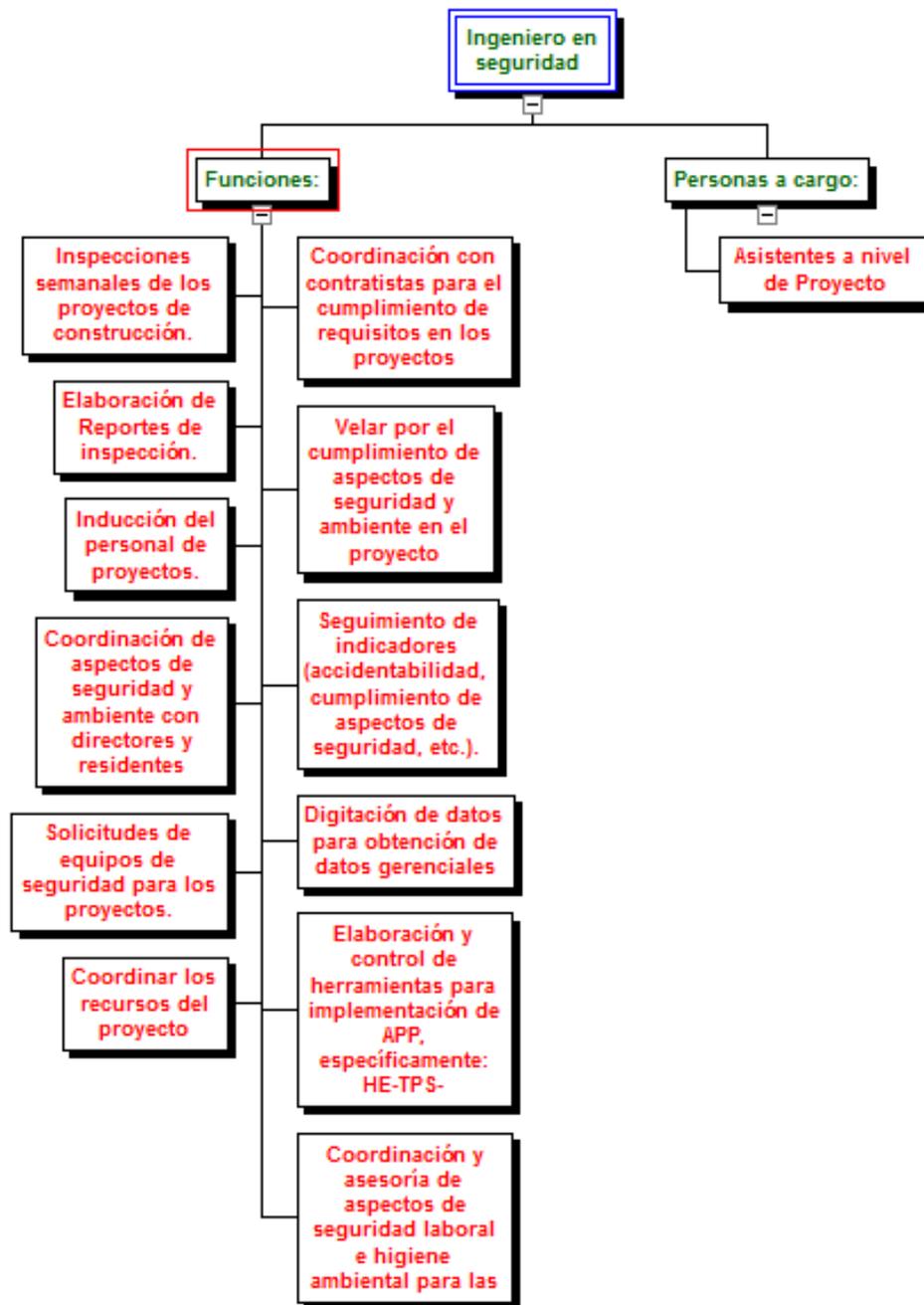
Organigrama de funciones y personal a cargo administrador de proyecto.
Elaborado con el programa WBS Chart Pro



Organigrama de funciones y personal a cargo del maestro de obras.
Elaborado con el programa WBS Chart Pro



Organigrama de funciones y personal a cargo del Gerente de operaciones.
Elaborado con el programa WBS Chart Pro



Organigrama de funciones y personal a cargo del Ingeniero seguridad laboral.
Elaborado con el programa WBS Chart Pro

Apéndice 4

La tabla de presupuesto (tabla de pagos) para el proyecto Almacén ESPH fue la siguiente:

ITEM	ACTIVIDAD	CANT.	UNID.	COSTO	COSTO
				UNITARIO	TOTAL
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
1.1	BODEGA	36,00	M2	\$36,02	\$1.296,63
1.2	DEMOLICIONES	1,00	GBL	\$7.416,12	\$7.416,12
1.3	CERRAMIENTO	137,00	M	\$12,90	\$1.767,55
1.4	TRAZADO	1556,25	M2	\$0,48	\$752,94
2	PLACAS DE FUNDACIÓN				
2.1	PLACA TIPO A	5,00	UND	\$498,58	\$2.492,88
2.2	PLACA TIPO B	7,00	UND	\$854,27	\$5.979,90
2.3	PLACA TIPO C	5,00	UND	\$415,65	\$2.078,25
2.4	PLACA TIPO D	10,00	UND	\$204,76	\$2.047,60
2.5	PLACA TIPO E	137,50	M	\$35,77	\$4.918,38
2.6	PLACA TIPO F	2,00	UND	\$270,84	\$541,67
2.7	PLACA TIPO G	1,00	UND	\$1.626,90	\$1.626,90
2.8	PLACA CORRIDA MURO ANDÉN	17,10	M	\$53,87	\$921,14
2.9	PLACA CORRIDA MURO RETENCIÓN	39,80	M	\$51,08	\$2.033,08
2.10	PLACA TIPO H (ALMACEN)	16,36	M	\$27,25	\$445,73
3	PAREDES DE BLOQUES				
3.1	PARED MAMPOSTERIA DEL ALMACÉN	427,18	M2	\$40,10	\$17.130,99
3.2	PARED MAMPOSTERIA MURO ANDÉN	19,20	M2	\$94,86	\$1.821,29
3.3	PARED MAMPOSTERIA MURO RETENCIÓN	36,22	M2	\$95,03	\$3.441,92
4	COLUMNAS				
4.1	C-1	14,00	UND	\$431,06	\$6.034,88
4.2	C-2	42,00	UND	\$109,17	\$4.584,98
4.3	C-3	2,00	UND	\$114,95	\$229,90
5	VIGAS CORONA				
5.1	VIGA CORONA (35X15CM)	16,67	M	\$26,69	\$444,87
5.2	VIGA PLANA (VP)	82,86	M	\$35,18	\$2.914,83
6	MARCOS DE ACERO	1,00	GBL	\$132.404,68	\$132.404,68
7	VIGAS ENTREPISO Y ENTREPISO				

7.1	VIGA VE-1	51,90	M	\$30,93	\$1.605,26
7.2	VIGA VE-2	37,00	M	\$73,67	\$2.725,62
7.3	VIGA VE-3	28,70	M	\$36,66	\$1.052,11
7.4	VIGA DIAFRAGMA	36,85	M	\$27,39	\$1.009,21
7.5	ENTREPISO PREFABRICADO	176,05	M2	\$34,05	\$5.994,13
7.6	SOBRELOSA DE CONCRETO	169,55	M2	\$13,42	\$2.275,26
8	CONTRAPISO	1556,25	M2	\$48,31	\$75.184,48
9	CUBIERTA DE TECHOS Y HOJALATERIA				
9.1	CUBIERTA LÁMINA HG#26 OND. ESM.	1499,35	M2	\$22,21	\$33.293,41
9.2	CUBIERTA LÁMINA HG#26 RECT. ESM.	112,25	M2	\$15,07	\$1.691,81
9.3	HOJALATERIA	1,00	GBL	\$5.909,91	\$5.909,91
9.4	ESTRUCTURA METÁLICA DE TECHOS MENORES	1,00	GBL	\$6.579,92	\$6.579,92
10	ESCALERAS METÁLICAS	2,00	UND	\$2.993,22	\$5.986,43
11	PAREDES LIVIANAS Y CIELOS				
11.1	PARED TIPO 1	194,55	M2	\$66,66	\$12.968,56
11.2	PARED TIPO 2	47,35	M2	\$38,71	\$1.832,70
11.3	PARED TIPO 3	637,95	M2	\$47,98	\$30.608,43
11.4	PARED TIPO 5	9,25	M2	\$53,76	\$497,26
11.5	PARED TIPO 6	18,50	M2	\$43,01	\$795,61
11.6	FORRO DUROCK EN COLUMNAS	261,25	M2	\$38,71	\$10.111,78
11.7	FORRO GYPSUM REG. EN PARED	\$114,75	M2	\$30,10	\$3.454,46
11.8	CIELO GEORGIAN	103,25	M2	\$25,80	\$2.664,22
11.9	CIELO GYPSUM MR	30,60	M2	\$18,28	\$559,29
11.10	CIELO GYPSUM TIPO "X"	7,30	M2	\$27,95	\$204,06
12	REPELLOS	24,73	M2	\$7,97	\$197,16
13	PINTURA	1,00	GBL	\$7.782,79	\$7.782,79
14	ENCHAPE AZULEJO	54,00	M2	\$23,93	\$1.292,05
15	VENTANERIA	28,71	M2	\$88,62	\$2.544,23
16	PUERTAS Y CERRAJERIA				
16.1	PUERTAS	1,00	GBL	\$21.692,64	\$21.692,64
16.2	CERRAJERIA	1,00	GBL	\$4.466,53	\$4.466,53
17	PIEZAS SANITARIAS Y ACCESORIOS DE BAÑO				
17.1	INODOROS	3,00	UND	\$116,99	\$350,98
17.2	LAVATORIOS Y CACHERAS	3,00	UND	\$95,64	\$286,91
17.3	MINGITORIO	2,00	UND	\$188,15	\$376,30
17.4	ACCESORIOS DE BAÑO	1,00	GBL	\$2.400,74	\$2.400,74

18	RED DE AGUA POTABLE	1,00	GBL	\$7.526,05	\$7.526,05
19	RED DE AGUAS NEGRAS	1,00	GBL	\$13.976,95	\$13.976,95
20	RED DE AGUAS PLUVIALES	1,00	UND	\$25.803,58	\$25.803,58
21	SISTEMA ELÉCTRICO	1,00	GBL	\$53.757,47	\$53.757,47
22	EQUIPO ELECTRO-MECANICO	1,00	UND	\$100.418,97	\$100.418,97
23	AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN	1,00	GBL	\$47.353,46	\$47.353,46
24	SISTEMA DE INCENDIOS	1,00	GBL	\$77.946,72	\$77.946,72
25	SISTEMA DE VOZ Y DATOS	1,00	GBL	\$9.676,37	\$9.676,37
26	PISOS Y RODAPIE				
26.1	PISO CERAMICO	214,75	M2	\$29,79	\$6.397,82
26.2	PISO ACABADO PLANCHADO Y SELLADO ASHFORD	1333,15	M2	\$6,88	\$9.173,35
26.3	RODAPIE	187,00	M	\$8,37	\$1.565,84
27	SEÑALIZACION INTERNA Y REJILLAS CS				
27.1	SEÑALIZACIÓN INTERNA	1,00	GBL	\$192,22	\$192,22
27.2	REJILLAS CS GROUP	41,00	M2	\$0,00	\$0,00
28	OBRAS EXTERIORES				
28.1	CASETA DE GUARDIA	1,00	UND	\$6.951,11	\$6.951,11
28.2	CASETA DE BOMBAS	1,00	UND	\$13.840,70	\$13.840,70
28.3	TANQUE DE AGUA	1,00	UND	\$20.710,62	\$20.710,62
28.4	MURO RETENCIÓN	33,00	M	\$831,18	\$27.428,89
28.5	TAPIA PERIMETRAL	186,00	M	\$63,55	\$11.819,63
28.6	ACERA EXTERNA	156,60	M2	\$26,06	\$4.080,45
28.7	CUNETAS	41,00	M	\$7,42	\$304,13
28.8	CONFORMACIÓN DE TALUD	41,00	M	\$8,60	\$352,65
28.9	ENZACATADO	122,95	M2	\$3,23	\$396,57
28.10	OBRA GRIS ELECTRICA				
28.11	FOSA P/TRANSFORMADOR TIPO PEDESTAL	1,00	UND	\$1.998,52	\$1.998,52
28.12	CAJA REGISTRO COMUNICACIONES	3,00	UND	\$90,34	\$271,02
28.13	PEDESTAL DE CONCRETO (EN POSTE)	1,00	UND	\$53,35	\$53,35
28.14	CAJA PRIMARIA SUBTERRÁNEA	1,00	UND	\$1.982,11	\$1.982,11
28.15	EXCAV. Y REATERRO TUB. COMUNICACIONES	33,90	M	\$0,39	\$13,12
28.16	EXCAV. Y REATERRO TUB. SUBT. RED ELECTRICA	49,10	M	\$0,77	\$38,01
28.17	EXCAV. Y REATERRO TUB. AGUA CONTRA INCENDIO	334,50	M	\$22,08	\$7.384,77
28.18	OBRA GRIS MECANICA				

28.19	EXCAV. Y REATERRO TUB. AGUA POTABLE	101,90	M	\$0,09	\$8,90
28.20	EXCAV. Y REATERRO TUB. AGUA NEGRAS	46,35	M	\$0,48	\$22,45
28.21	EXCAV. Y REATERRO TUB. AGUA PLUVIALES	161,80	M	\$0,58	\$93,94
28.22	TANQUE SEPTICO	1,00	UND	\$1.199,36	\$1.199,36
28.23	DRENAJE SEPTICO	24,00	M	\$25,11	\$602,75
28.24	POZOS ABSORCION	4,00	UND	\$1.862,32	\$7.449,29
28.25	CAJA REGISTRO PLUVIAL	18,00	UND	\$108,15	\$1.946,69
28.26	TRAGANTE A PIE DE BAJANTE	16,00	UND	\$50,44	\$807,09
28.27	CAJA REGISTRO AGUAS NEGRAS	4,00	UND	\$83,97	\$335,88
28.28	TRAMPA DE GRASA	1,00	UND	\$613,33	\$613,33
28.29	CABEZAL DESFOGUE H=2M	1,00	UND	\$1.433,92	\$1.433,92
28.30	CABEZAL DESFOGUE H=4M	1,00	UND	\$2.236,34	\$2.236,34
28.31	CAJA DE VALVULAS	3,00	UND	\$46,28	\$138,83
28.32	DRENAJE EN TRAGANTES DE JARDIN	18,00	UND	\$59,39	\$1.069,06
28.33	PLATAFORMA CONCRTEO 2X1X0.15M	1,00	UND	\$53,19	\$53,19
28.34	PLATAFORMA CONCRETO PLANTA EMERG.	1,00	UND	\$385,38	\$385,38
28.35	CERRAMIENTO PERIMETRAL MALLA CICLON	242,00	M	\$95,16	\$23.029,71
28.36	PORTONES DE ACCESO	2,00	UND	\$1.644,98	\$3.289,96
28.37	REJAS EN TAPIA PERIMETRAL	186,00	M	\$117,92	\$21.933,05
29	LIMPIEZA FINAL	1,00	UND	\$215,03	\$215,03
TOTAL OFERTADO					\$970.000,00

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Apéndice 5

Los problemas encontrados en el proceso constructivo del almacén ESPH fueron identificados gracias a entrevistas a los propios protagonistas de la obra, dichas entrevistas fueron orales, a continuación se presentan los resultados de dichas encuestas:

Encuesta oral #1

PUESTO: Maestro de obras

PROYECTO: Almacén Empresa de Servicios Públicos de Heredia.

Identificación de problemas de flujo de trabajo, en el proyecto Almacén Empresa de Servicios Públicos de Heredia. (ESPH)

1. ¿Llega el material oportunamente al proyecto, para la realización de las tareas?
No, la mayoría de los materiales se solicitan proveeduría y llegan mucho tiempo después de la fecha en que se necesitan. Además algunas veces los materiales que llegan al proyecto no son los solicitados.
2. ¿Esta el equipo, maquinaria y herramientas en buen estado?
No, equipos como vibradores, mezcladora de concreto llegaron a la obra pero en mal estado, además hay escases de herramienta menor como martillos, alicates, tenazas, entre otros.
3. ¿Sabe usted cuales son sus tareas específicas en este proyecto y quien es su superior?
Si, mis labores consisten en garantizar que las tareas se realicen, además organizar y asignar las tareas a los trabajadores del proyecto.
4. ¿Conoce usted las fechas estimadas para cada actividad y el cronograma de trabajo de este proyecto?
No, solamente tengo conocimiento de la fecha en que se debe entregar el proyecto, nunca he visto el cronograma del proyecto, tampoco hay un seguimiento del mismo en la obra.
5. ¿Piensa usted que el personal que labora en el proyecto esta capacitado para ejecutar las actividades que se le asignan?
Por ejemplo el contratista de obra gris cuenta con trabajadores sin experiencia en albañilería, por lo que los trabajos son lentos y en varias ocasiones se han tenido que demoler paños de pared. Es difícil tener trabajadores capacitados más aun si son proyectos lejanos, generalmente la empresa prefiere contratar personal de la zona aunque no tenga experiencia en la construcción.
6. ¿Cree usted que el proyecto cuenta con una buena planificación?
A inicios del proyecto se realizó un plan de distribución de sitio pero no muy detallado, después de eso considero que no hay planificación, con la experiencia que uno ha adquirido en cada proyecto es suficiente.
7. ¿Se realizan reuniones periódicas con los involucrados de la obra (maestro de obras, subcontratistas, ingeniero, trabajadores) para controlar avance, revisar fechas, coordinar actividades, entre otros?
No, de hecho en otras empresas en las que he laborado si se realizan este tipo de reuniones así cada involucrado de la obra esta consiente de las responsabilidades, de los tiempos y de la calidad que debe tener su trabajo.
8. ¿Se siente usted cómodo laborando en la empresa y en este proyecto en específico?
Si, pero hay situaciones que causan desmotivación para uno como encargado como para los trabajadores, por ejemplo la falta de materiales o herramientas.
9. ¿Considera usted que el flujo de trabajo en el proyecto Almacén ESPH es lento?
Si, por problemas de materiales.

10. ¿A su parecer que debería de cambiarse para garantizar un flujo continuo y un aumentar la productividades en el proyecto ESPH?

Simplemente garantizar la llegada de materiales y procurar ser más estrictos con el trabajo.

Encuesta oral #2

PUESTO: Ingeniero Residente

PROYECTO: Almacén Empresa de Servicios Públicos de Heredia.

Identificación de problemas de flujo de trabajo, en el proyecto Almacén Empresa de Servicios Públicos de Heredia. (ESPH)

1. ¿Llega el material oportunamente al proyecto, para la realización de las tareas?
No, las solicitudes de materiales se envían a proveeduría en las oficinas de la empresa pero en algunas ocasiones no se conoce el material solicitado, entonces se envían al proyecto materiales distintos a los solicitados. Además el tiempo de respuesta de proveeduría es lento uno espera que los materiales lleguen a la obra en un periodo máximo de cuatro días después de solicitado pero casi nunca se cumple este periodo.
2. ¿Esta el equipo, maquinaria y herramientas en buen estado?
No, uno de los mayores problemas es que las maquinas y las herramientas no tienen mantenimiento continuo por lo que una vez terminado un proyecto el equipo se deteriora de forma exagerada, la proveeduría cumple con enviar el equipo a la obra pero en mal estado, el mismo funciona por un tiempo y luego se daña, el tiempo y el costo de reparación es muy elevado. Equipo como vibradores, mezcladora de concreto llegaron a la obra pero en mal estado.
3. ¿Sabe usted cuales son sus tareas específicas en este proyecto y quien es su superior?
Si, mis labores consisten en solicitar materiales, estar en obra, hacer inspección, ordenes de cambio, atender al cliente, la inspección y realizar formularios de aprobación de materiales.
4. ¿Conoce usted las fechas estimadas para cada actividad y el cronograma de trabajo de este proyecto?
Si, pero los tiempos y el cronograma es una tarea más específica del director de proyecto. La empresa realiza un plan a tres semanas para manejar los tiempos del proyecto, lo que sucede con el plan tres semanas es que no se cumple por falta de flujo de material
5. ¿Piensa usted que el personal que labora en el proyecto esta capacitado para ejecutar las actividades que se le asignan?
Es difícil encontrar mano de obra capacitada, más cuando la obra es en un lugar lejano, generalmente la empresa tiene una cuadrilla general que realiza labores varias en el proyecto, de modo que se trata de contratar personal con experiencia. Por otra parte no se puede garantizar que los contratistas tengan trabajadores con experiencia, estos prefieren contratar personal sin experiencia que les representa menos planilla.
6. ¿Cree usted que el proyecto cuenta con una buena planificación?
La construcción es un sector muy difícil de controlar por su vulnerabilidad ante efectos meteorológicos. Además son muchas las actividades que lo componen, por lo que es difícil planificar para evitar todos los errores posibles, siempre se van a presentar problemas en los procesos aunque se planifique al detalle.

7. ¿Se realizan reuniones periódicas con los involucrados de la obra (maestro de obras, subcontratistas, ingeniero, trabajadores) para controlar avance, revisar fechas, coordinar actividades, entre otros?
No, en las reuniones con la inspección o el cliente (una vez a la semana) se identifican los problemas, los cambios y las correcciones a realizar en la obra.
8. ¿Se siente usted cómodo laborando en la empresa y en este proyecto en específico?
Sí, como ingeniero siempre se intenta controlar los problemas y aumentar la productividad, lo que en ocasiones desmotiva es la falta de material en obra que atrasa el proyecto, luego uno como responsable de la obra debe dar la cara para explicar el atraso en el proyecto.
9. ¿Considera usted que el flujo de trabajo en el proyecto Almacén ESPH es lento?
Sí, el proyecto se desarrolla según la disponibilidad de materiales y de mano de obra, de ahí se hace evidente el atraso que sufre hoy el proyecto según el cronograma.
10. ¿A su parecer que debería de cambiarse para garantizar un flujo continuo y un aumentar la productividades en el proyecto ESPH?
Principalmente garantizar la llegada oportuna de material al proyecto, en la cantidad y la calidad solicitada, además procurar que los equipos lleguen en buen estado a la obra, para evitar atrasos.

Encuesta oral #3

PUESTO: Administrador de proyecto

PROYECTO: Almacén Empresa de Servicios Públicos de Heredia.

Identificación de problemas de flujo de trabajo, en el proyecto Almacén Empresa de Servicios Públicos de Heredia. (ESPH)

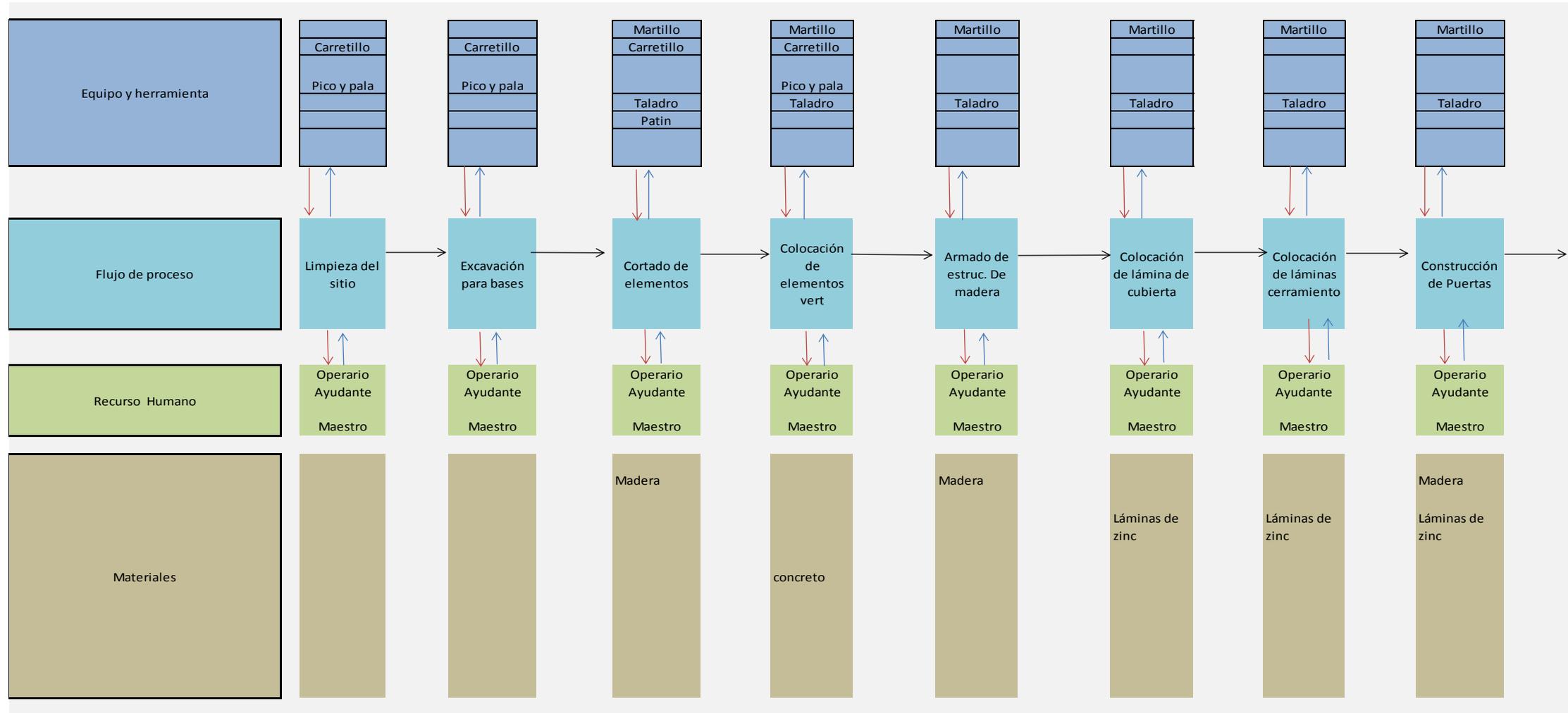
1. ¿Llega el material oportunamente al proyecto, para la realización de las tareas?
No, muchos de los materiales no han entrado al inventario de bodega, hay materiales como clavos y madera que aun no llegan y que se pidieron hace ya mucho tiempo.
2. ¿Esta el equipo, maquinaria y herramientas en buen estado?
No, los equipos han llegado en malas condiciones, además hay una deficiencia de herramienta menor como piquetas, martillos, alicates entre otros que son necesarios para la ejecución de tareas. Los equipos prestados a los subcontratistas no son devueltos en las mismas condiciones, los regresan sucios y llenos de concreto. Además las máquinas como compactadores y mezcladoras de concreto se quedan sin combustible periódicamente.
3. ¿Sabe usted cuales son sus tareas específicas en este proyecto y quien es su superior?
4.
Si, recibir materiales, verificar el uso de equipo de seguridad, despachar material al campo, llevar inventario de material y equipo y llevar planilla diaria.
5. ¿Conoce usted las fechas estimadas para cada actividad y el cronograma de trabajo de este proyecto?
No, solamente la fecha de entrega del proyecto.
6. ¿Piensa usted que el personal que labora en el proyecto esta capacitado para ejecutar las actividades que se le asignan?

Si, cada trabajador tiene su aporte al proyecto. Pero es importante que se considere la contratación de personal joven ya que los trabajos de construcción son muy pesados. En este proyecto se han contratado trabajadores mayores que inclusive han sufrido accidentes.

7. ¿Cree usted que el proyecto cuenta con una buena planificación?
Considero que la planificación ha sido buena, pero siempre se van a presentar problemas en los proyectos.
8. ¿Se realizan reuniones periódicas con los involucrados de la obra (maestro de obras, subcontratistas, ingeniero, trabajadores) para controlar avance, revisar fechas, coordinar actividades, entre otros?
No, se realizan reuniones con la inspección cada miércoles, pero solamente están los clientes del proyecto, el ingeniero residente, el ingeniero director y el maestro de obras.
9. ¿Se siente usted cómodo laborando en la empresa y en este proyecto en específico?
Si, pero hace falta ser mas estrictos con los contratistas y trabajadores para que cuiden los equipos y además para que mantengan limpio el lugar de trabajo.
10. ¿Considera usted que el flujo de trabajo en el proyecto Almacén ESPH es lento?
Si, por que se atrasó con respecto a la fecha de entrega.
11. ¿A su parecer que debería de cambiarse para garantizar un flujo continuo y un aumentar la productividades en el proyecto ESPH?
No responde.

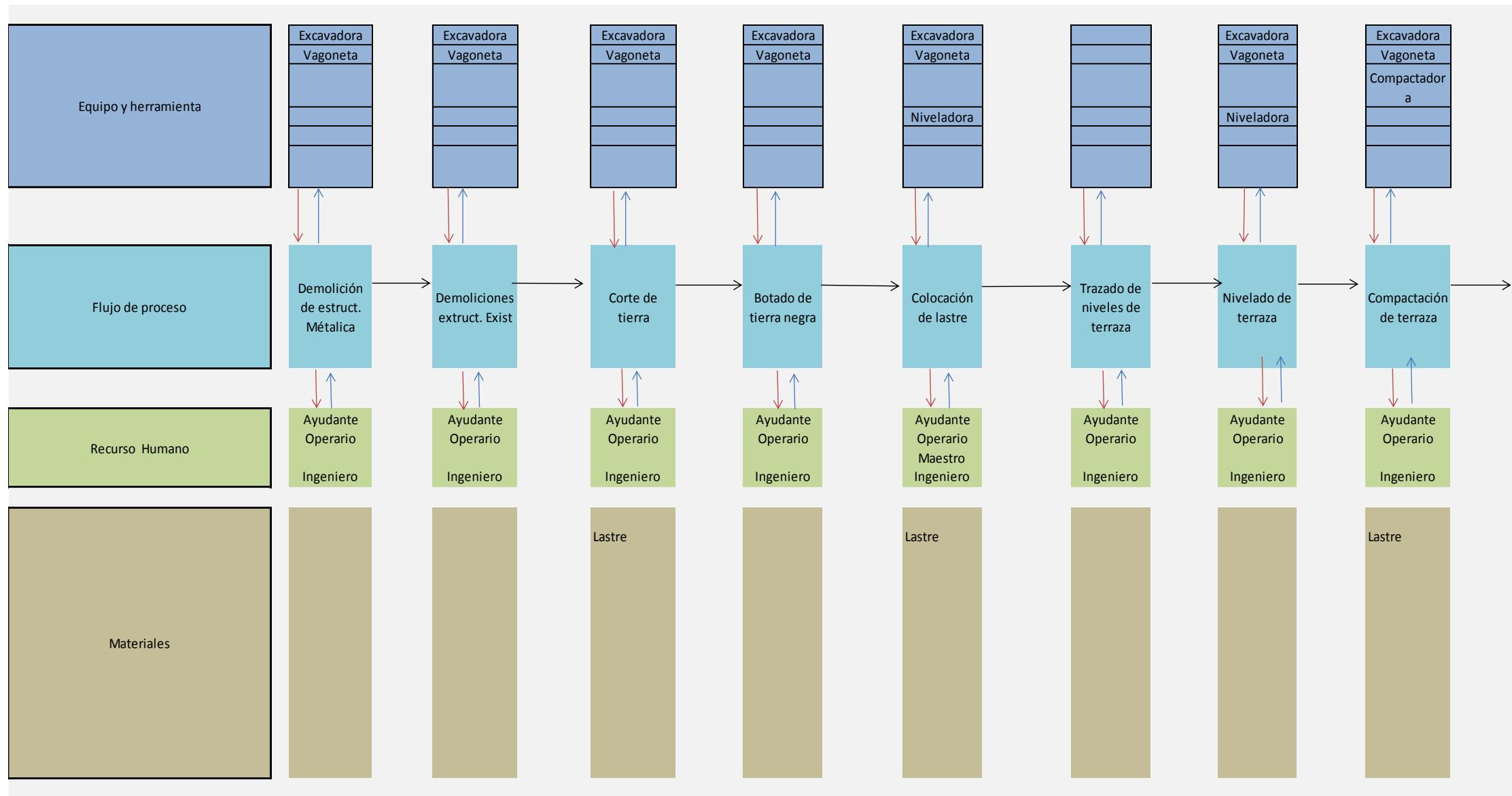
Apéndice 6

A continuación se presentan los flujos de procesos diseñados para las actividades críticas del proyecto ESPH, los mismos permiten un ordenamiento de las secuencias a seguir para evitar problemas de flujo de trabajo.



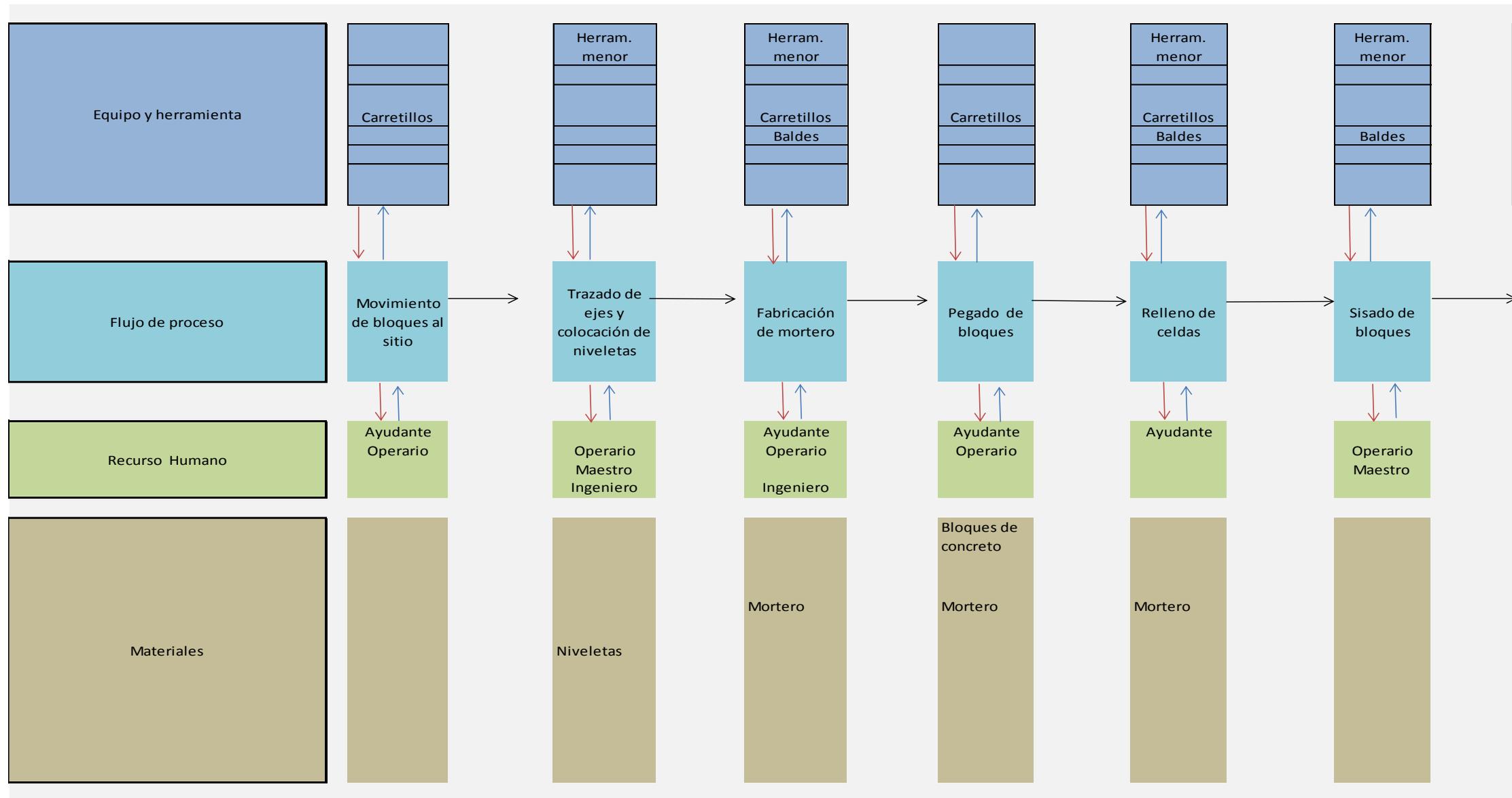
Diseño de flujo de procesos propuesto para la actividad "bodegas" del almacén ESPH.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010



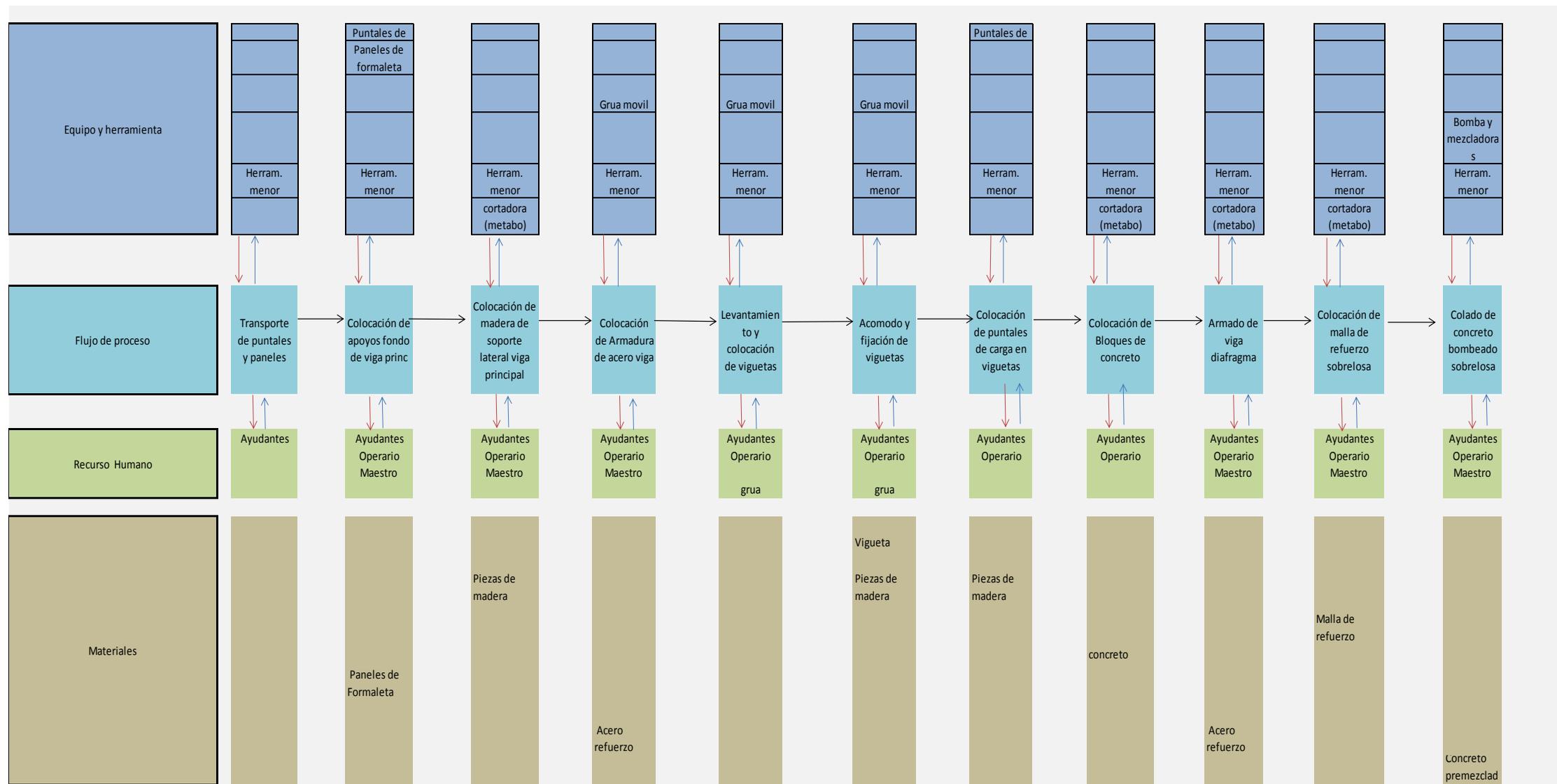
Diseño de flujo de procesos propuesto para la actividad "Movimiento de tierras" del almacén ESPH.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010



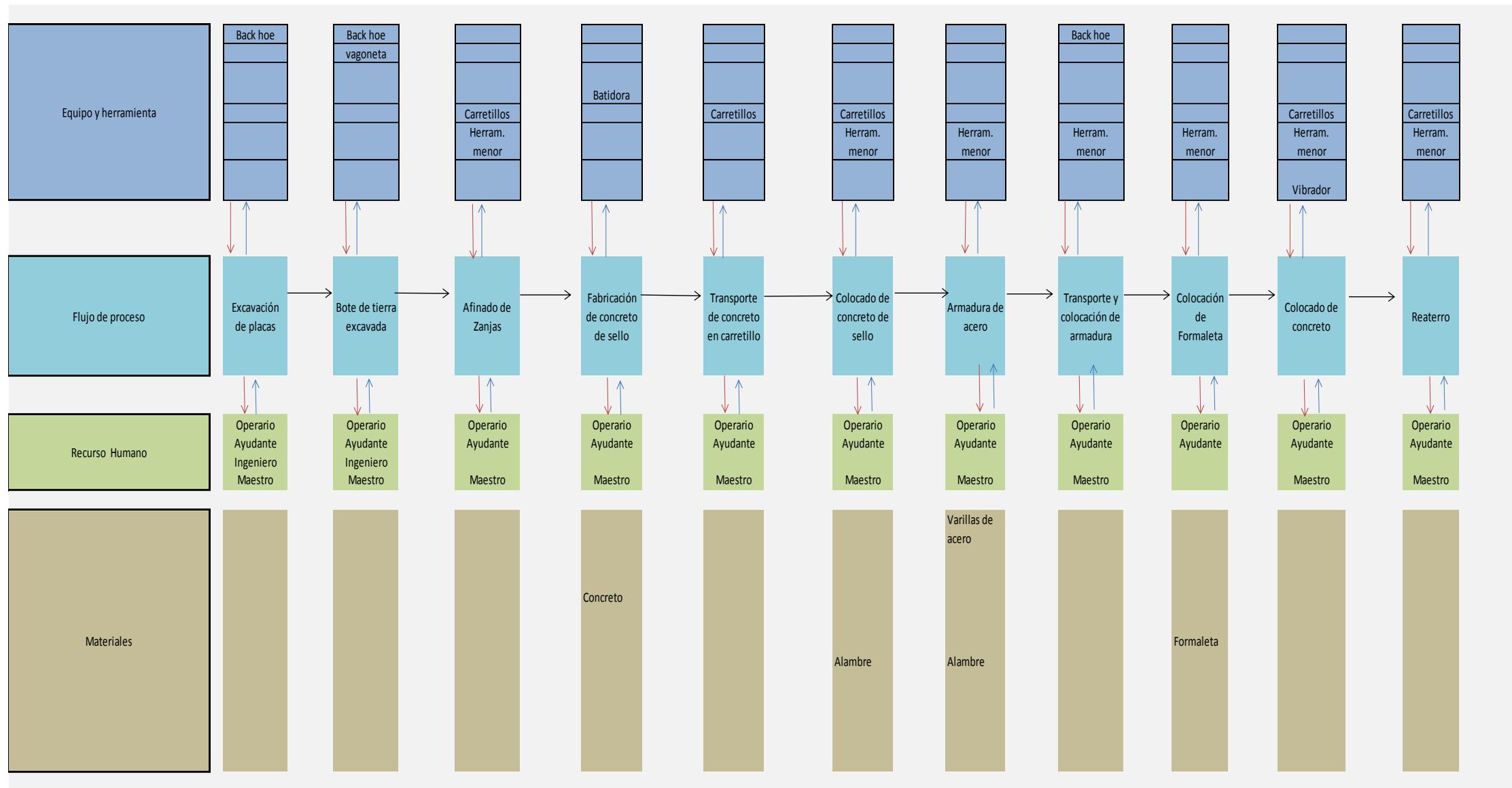
Diseño de flujo de procesos propuesto para la actividad "Paredes de mampostería" del almacén ESPH.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010



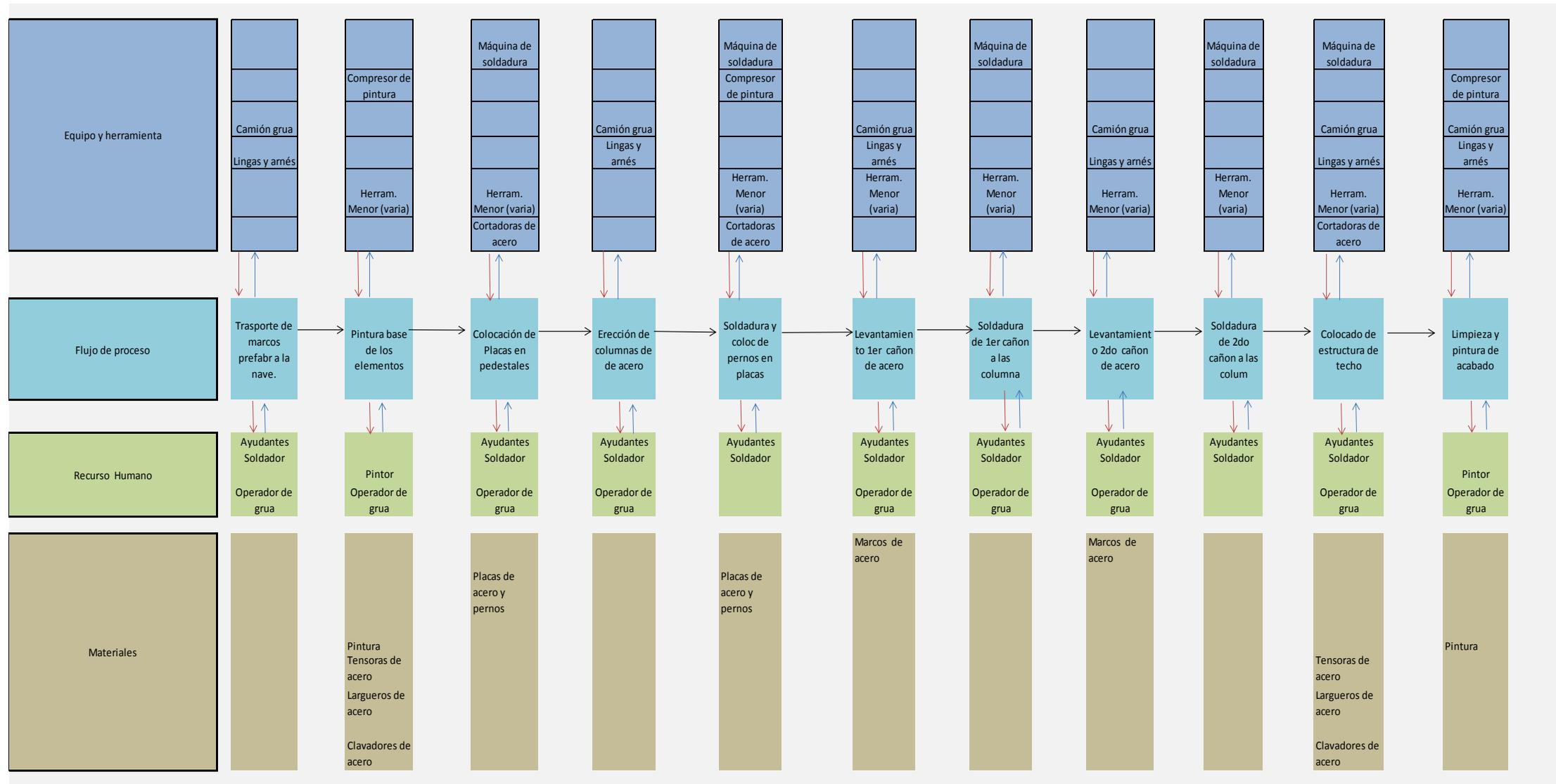
Diseño de flujo de procesos propuesto para la de actividad "Vigas de entrepiso y entrepiso" del almacén ESPH.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010



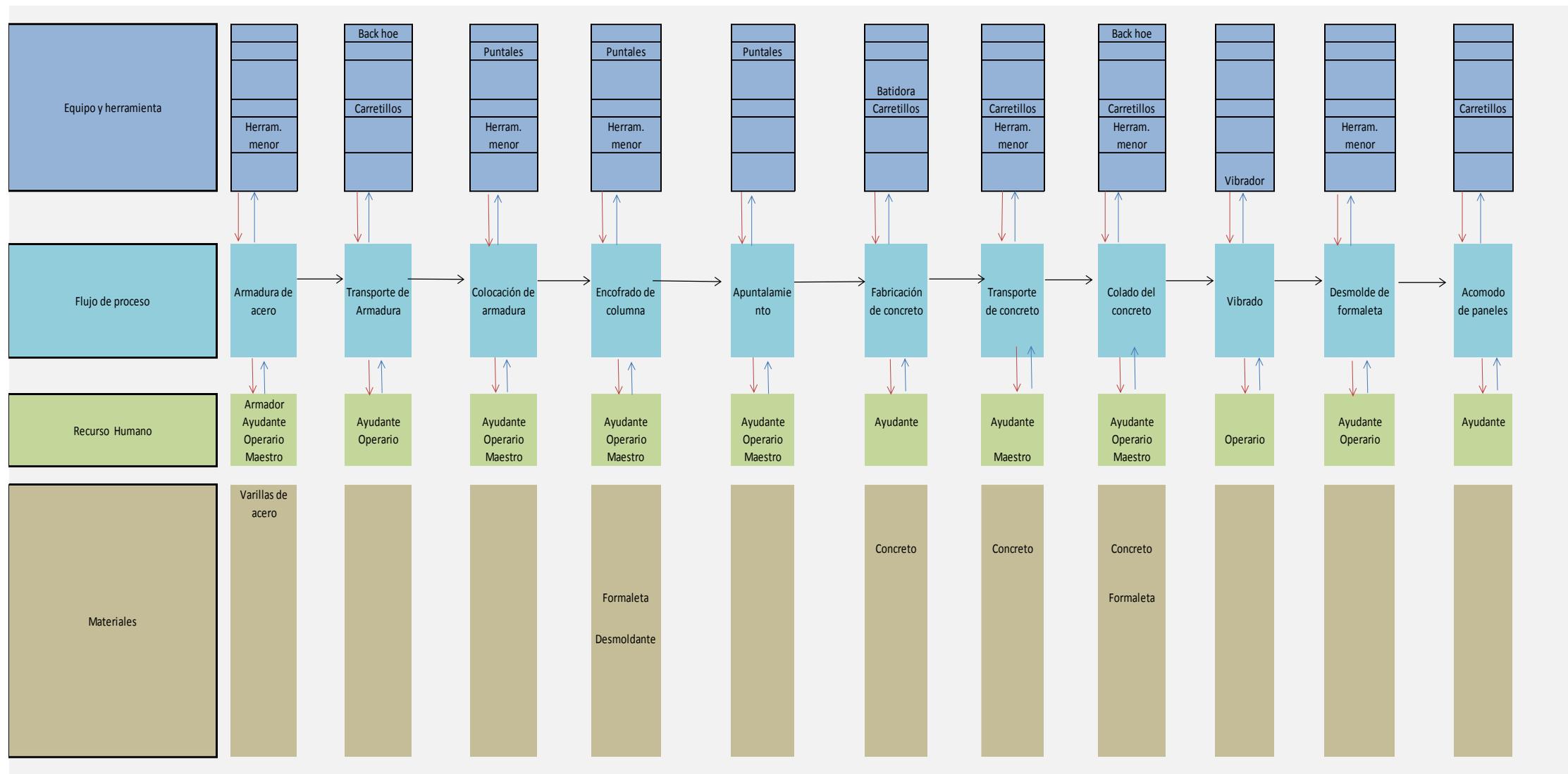
Diseño de flujo de procesos propuesto para la de actividad "Placas de fundación" del almacén ESPH.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010



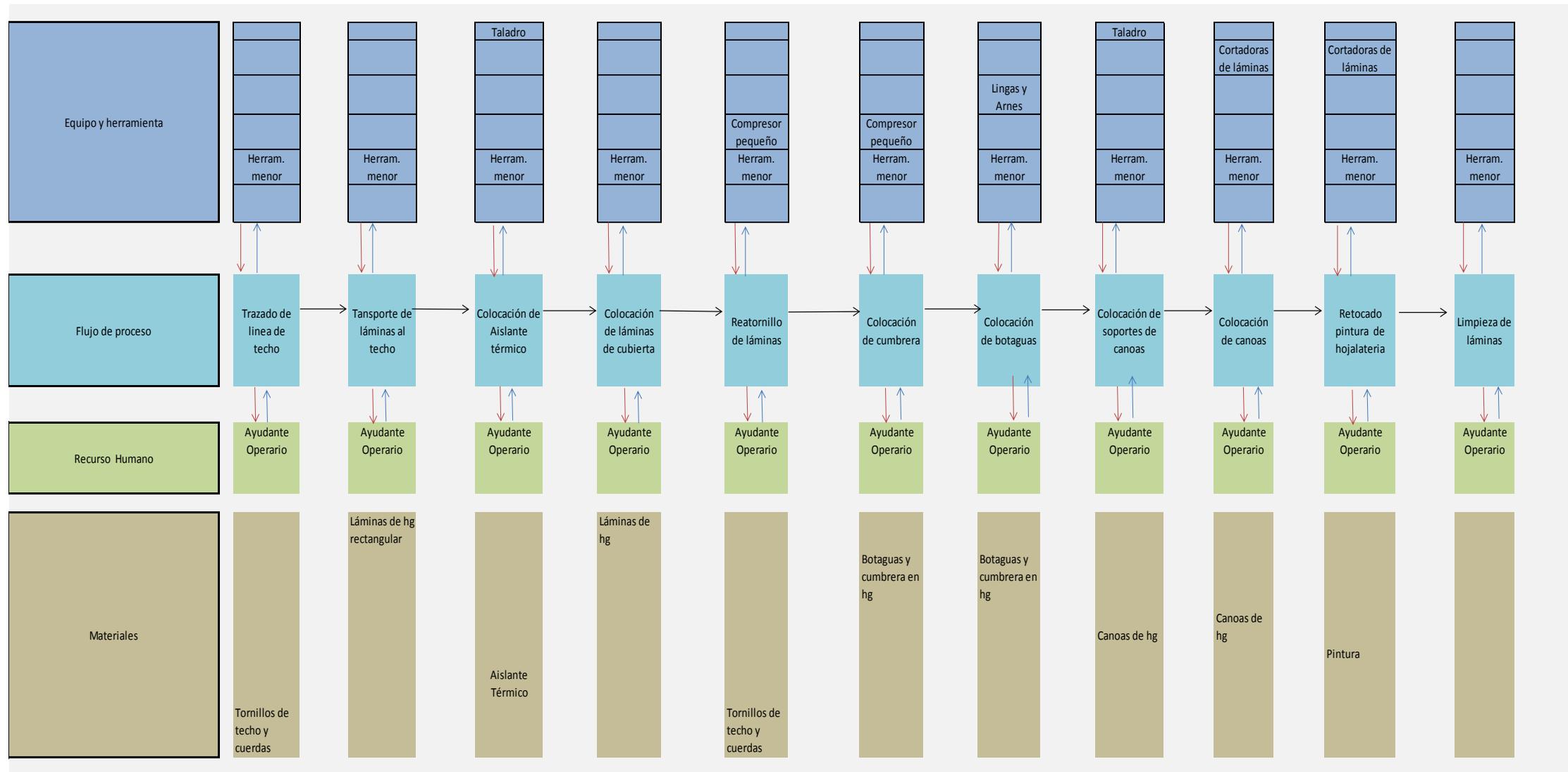
Diseño de flujo de procesos propuesto para la de actividad "Estructura de arcos de Acero" del almacén ESPH.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010



Diseño de flujo de procesos propuesto para la actividad "Columnas de concreto" del almacén ESPH.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010



Diseño de flujo de procesos propuesto para la actividad "Colocación de Aislante y cubierta de techo" del almacén ESPH.

Elaborado con el programa Microsoft Excel 2010

Referencias

- Camp, Robert C. 1989. *Benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance*. ASQC Quality Press, Milwaukee. 299 p.
- Cuatrecasas, A, 2002 Indicadores de control para la mejora de un proceso de acuerdo con los principios de la producción lean, Lean Institute Management, 2002, p 1-7
- Cuatrecasas, A, 2002. Cómo implantar realmente el Lean Management (4). El desperdicio: coste pero no valor, Lean Institute Management, 2002, p 1
- Dennis Pascal, 2002. *Lean production simplified: a Plain language Guide to the world's most powerful production system*, Productivity Press, Estados Unidos.
- Fucci, Tomás. Junio 1999. *EL GRAFICO ABC COMO TECNICA DE GESTION DE INVENTARIOS*, publicación sixsigma, pág. 1-7 p.
- Karlsson, C.; Ahlstrom, P. (1996) Assessing changes towards lean production. International Journal Of Operations & Production Management, Vol 16, No.2, 24 p.
- Lauri Koskela. Septiembre 1992. **APLICACION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION**. CIFE Technical Report #72, Stanfor University. Technical Research Centre of Finland. 1-20 p.
- Lillrank, Paul & Kano, Noriaki. 1989. Continuous Improvement: Quality Control Circles in Japanese Industry. Michigan papers in Japanese Studies: no. 19. Center for Japanese Studies, The University of Michigan, Ann Arbor, MI. 294 p.
- Monden, Y. 1987. *EL JUST IN TIME HOY EN TOYOTA*. España: Editorial Deusto S. A , 21p.
- Nakajima, Seiichi. 1988. Introduction to TPM. Productivity Press, Cambridge, MA. p. 166
- Penton Media Inc. 2003. *5 S's That Would Make Any CEO Happy*, **THE NEWSMAGAZINE OF MECHANICAL CONTRACTING**, 1-2 p
- Schmenner, Roger W. 1988. The Merit of Making Things Fast. Sloan Management Review, Fall 1988. P. 11.
- Shingo, Shigeo. 1984. Study of 'TOYOTA' Production System. Japan Management Association, Tokyo. 359 p.
- Shingo, Shigeo. 1988. Non-stock production. Productivity Press, Cambridge, Ma. 454 p
- Villaseñor 2007, Galindo 2007. *Conceptos y reglas de Lean Manufacturing. México, Coedición Instituto Tecnológico de Monterrey y de Estudios Superiores de Monterrey. Editorial Limusa, SA de C.V, 2007. 155p, 13-100 p*