



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Propuesta de planeación y control
para una producción esbelta en la
construcción (Lean Construction)**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Industrial

P R E S E N T A

Jorge Cid Sandoval

DIRECTORA DE TESIS

M.I. Elia Inés Luna Ceballos



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado PROPUESTA DE PLANEACION Y CONTROL PARA UNA PRODUCCION ESBELTA EN LA CONSTRUCCION (LEAN CONSTRUCTION) que presenté para obtener el título de INGENIERO INDUSTRIAL es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

JORGE CID SANDOVAL
Número de cuenta: 315120200

Contents

Introducción	9
Objetivos.....	10
Objetivo General	10
Objetivos Particulares	10
Problemática.....	10
Alcances	12
Marco Contextual.....	13
La Industria de la Construcción en México	13
Lean Manufacturing en la Construcción (Lean Construction)	17
Metodologías de Planeación y Control en la Construcción Mexicana (Lean Construction en México).....	18
Marco Teórico.....	20
Planeación y Control de la Producción (PCP)	20
Lean Manufacturing.....	23
Los Siete Desperdicios y más	26
Work Breakdown Structure (WBS)	29
Just In Time (JIT)	31
Material Requirement Plan (MRP).....	33
Muestreo Por Tabla Militar Estándar	35
Gestión de la Calidad	39
Otros Conceptos Importantes.....	41
Productividad.....	41
Principio de Pareto	42
Planeaciones Push & Pull.....	42
Los 5 Por Qué.....	43
Metodología.....	44
Planeación de la Producción	44
Control de la Producción	46
Resultados.....	49
Planeación de la Producción	49
Previo al Desarrollo de la WBS: Acuerdo de Disciplinas	49
Desarrollo de la WBS Primera Parte: Desglose	51
Desarrollo de la WBS Segunda Parte: Costos	53

Desarrollo de la WBS Tercera Parte: Asignación de Fechas	53
Resumen Físico de Planeación	54
Manual de Calidad	55
Plantillas de Calidad	56
Material Requirement Plan (MRP)	58
Last Planner: El Kanban de la Construcción	63
Pizarras Infográficas por Nivel Primera Parte: Información General del Nivel	64
Pizarras Infográficas por Nivel Segunda Parte: Planes de Producción	65
Reprogramaciones	66
Control de la Producción	67
Desarrollo de la WBS Cuarta Parte: Ponderaciones	67
Desarrollo de la WBS Quinta Parte: Importancia en Costo	68
Desarrollo de la WBS Sexta Parte: Dificultad de Suministro	70
Desarrollo de la WBS Séptima Parte: Dificultad de Mano de Obra	72
Desarrollo de la WBS Octava Parte: Clase de Actividad.....	73
Valor Ponderado de una Actividad.....	75
¿Cómo se mide el Avance Planeado?	77
¿Cómo se mide el Avance Real?.....	77
Sesgo en Tiempo.....	78
Productividad Respecto al Tiempo.....	80
Causas de Incumplimiento.....	82
Seguimiento al MRP	83
Seguimiento con Plantillas de Calidad	84
Muestreo de Calidad.....	85
Punch List: Calidad al Final del Proceso	86
Personal de Obra.....	87
Muestreo de Seguridad.....	89
Pizarras Infográficas Por Nivel Tercera Parte: Estatus Por Contratista	90
Pizarras Infográficas Nivel Cuarta Parte: Avance General en el Nivel.....	91
Conclusiones.....	91
Bibliography	94

Agradecimientos y Dedicatoria.

A mi mamá, Lic. Rosy Sandoval, por hacer todo con tu amor enorme e incondicional. Por enseñarme con el ejemplo lo que es la disciplina y compromiso, por darme unas bases tan fuertes que siempre han trazado y trazarán mi forma de ser como persona y como profesional. Gracias mami por las noches de desvelo, por cuidarme en mis malos momentos, pero igual estar siempre presente en los mejores. Agradezco esas tantas veces que me hiciste creer en mis capacidades y talentos cuando a mí me costaba hacerlo, porque crees en mí más que nadie y eso siempre ha sido uno de mis mayores impulsos. Debes saber que cualquier logro que tengo en el rubro que sea es también es tuyo, por ejemplo el presente trabajo, porque sin tus cimientos nada de esto sería posible. Espero ser ese gran ser humano que has tenido como objetivo formar. Estoy muy orgulloso del magnífico ser humano que eres, de la gran profesional que has demostrado ser y sobre todo de la magnífica mamá que siempre has sido. Te amo muchísimo y siempre le agradeceré a Dios tener a la mejor mamá del mundo, le pido que me seas eterna.

A mi papá, Ing. Jorge Cid Pimentel, por enseñarme que no hay mejor motivación e inspiración para ser un magnífico y ejemplar profesional que el amor a tu familia. Gracias por tu cariño y amor como papá, por esa forma de hacernos sentir queridos con tus apapachos y cuidados, siempre apreciaré esa manera tan abrumadora de querernos que es tan particular de ti. Te agradeceré siempre ser el primero en cuidarnos en los malos y buenos momentos. Siempre admiraré esa manera de ponerte de pie cuando las situaciones se ponían difíciles y que hiciste hasta lo imposible por sacarnos adelante aunque todo complicara, eres mi mayor ejemplo de resiliencia. Por tus consejos en todos los rubros que me han trazado como profesional y como persona. Debes tener presente que todo lo que consiga es por y para ti. De mis grandes deseos y objetivos en la vida es ser un gran profesional como el que tú has demostrado ser. Te amo muchísimo y eres el mejor papá que uno podría desear, por favor quédate siempre conmigo.

A mi hermano, Omar Cid, por ser el mejor compañero de vida que he podido tener. Eres lo mejor que mis papás me han dado o pudieron dar. Por ser mi cómplice en muchísimas aventuras y jamás dejarme solo en cualquier decisión o proyecto que he tenido. Por provocar que me obligara a ser un buen ejemplo para ti debido a que, a pesar de ser tú menor, en muchas ocasiones has sido tú un gran ejemplo para mí y me has impulsado a realizar acciones por tu gallardía. Por demostrarme otra forma de afrontar las diversas situaciones de la vida que, aunque comúnmente vemos igual, atendemos que manera diferente. Gracias por mantenerme distraído y divertido tantas veces con tus bromas y ocurrencias, por todas esas horas de juego que tuvimos de niños y en la actualidad las horas de plática tan entretenida. Te agradezco que compartas mis pasiones, me hagas sentir comprendido con ellas y te extiendas sobre las mismas. Mis logros son tus logros, porque mantener un estándar tan alto para que alguien tan habilidoso como tú la mantenga o supere no es sencillo. Te amo mucho y espero que, como hasta ahora, seas mi gran compañero de vida siempre.

Al amor de mi vida, Dany Escalona, por ser la mujer más amorosa, integral y maravillosa del mundo. Sabes que eres mi motivación para que este trabajo esté terminado, para que nuestra familia tenga más herramientas para salir adelante. Eres la única persona del mundo que desde que vi por primera vez hasta el día de hoy jamás he sacado de mi mente. Te agradezco esa manera tan hermosa y sin límites de demostrarme amor que me motiva todos los días a salir adelante. Gracias por impulsarme y creer en mí, tu manera de hacer esto me ha motivado más veces de las que te puedes imaginar. Tener a una persona tan maravillosa, hábil e inteligente a mi lado, a la vez con tantas virtudes y belleza en su ser hace que me ponga muy feliz al darme el honor de compartir mi vida contigo. Eres mi pareja, mi mejor amiga, mi confidente, mi compañera de aventuras y básicamente todo lo que quisiera de una persona. Que tú y lo que venga para nosotros estén orgullosos de este trabajo que he hecho con tanto empeño. Agradezco todos los días a Dios que me dé de pareja a una mujer tan distinta y magnífica como tú. Te amo muchísimo, mi vida, que seamos para siempre esta pareja tan amorosa que hemos sido cada día.

A mi abuelita, Rafa González, por cuidarme y quererme siendo la mejor madrina que ha existido. Ya casi 7 años sin ti y te recuerdo todos los días con muchísimo cariño. Tu presencia fue tan grande en este mundo que desde que te fuiste no hay cómo o quién cubra ese enorme hueco que has dejado. Siempre viste por mi bienestar, buscando que contara con todas las herramientas para cumplir mis objetivos. Estuviste presente en cada evento especial para mí y, a tu particular manera, me hiciste sentir el orgullo que tenías por mis logros. Nunca olvidaré que en tus últimos días me dijiste de viva voz el lugar que tenía en tu corazón. Gracias por enseñarnos a tener unida a una familia, que es lo más importante. Te quiero, espero que desde el cielo estés orgullosa de mí.

A mi abuelito, Ing. Pablo Sandoval, por ser un ejemplo y orgullo profesional, además de ser un gran padrino. Quiero decirte lo orgulloso que estoy de ser nieto de alguien tan trascendente, inteligente y tenaz como tú. El cariño y orgullo que en algún momento me hiciste sentir que producía en ti es algo que me ha motivado a querer ser alguien tan trascendental como tú. Para nadie debe ser un secreto que si estudié en esta prestigiosa Facultad fue por ese orgullo que tengo de ser nieto de un destacado egresado y catedrático de ella como tú. Gracias por brindarnos herramientas para poder salir adelante a mi familia y para mí, eres mucho más que eso para mí, pero nunca dejaré de lado eso. Te quiero mucho, padrino, jamás olvides lo orgulloso que estoy de ti.

A mi abuelita, Yola Pimentel, por demostrarme todos los días, durante el corto tiempo que Dios te prestó como abuelita, tu cariño de una manera tan apapachadora. Aunque ya son 15 años sin ti, todos los días te recuerdo porque rememoro y mis papás me platican lo feliz y emocionada que estabas de tenerme de nieto. Solo pudiste acompañarme en mis primeros pasos académicos, pero estuviste en todos esos primeros momentos importantes con mucho amor. Te quiero, espero que desde el cielo estés contenta de que soy tu primer nieto en graduarse.

A los señores, Yolanda Villafuerte y Gerardo Escalona, por confiar en mí a uno de sus tres grandes tesoros y por su orgánica preocupación por mi propio bienestar. Desde el primer día que los conocí me abrieron amablemente la puerta de su casa y en muchas ocasiones me han acogido en ella como si así lo fuera, de lo cual les estaré eternamente agradecido. Les agradezco su preocupación genuina por mi bienestar mental y físico. Quiero extender mi agradecimiento por todos los consejos e interés brindados en mi crecimiento laboral y académico. Los tengo en muy alta estima y muchas gracias por darme a la mejor mujer del mundo, definitivamente es mucho de eso gracias a ustedes. De igual forma agradecer a Dafne y Gerardo Escalona Villafuerte las grandes atenciones hacia mí y momentos divertidos.

Agradecer especialmente a mi directora de tesis, M.I. Elia Luna, por el gran empeño que ha puesto al presente trabajo, por darme puntos de vista diferentes y alimentar con sus grandes conocimientos este documento. Desde que fuiste mi profesora en la carrera me brindaste conocimientos e información que me fue muy útil, incluso para implementar en el presente trabajo. Eres una magnífica catedrática y profesional, es un gusto coincidir con gente así de profesional aún saliendo de la carrera. Además, agradezco esos momentos donde pudimos compartir vivencias fuera del presente trabajo y distraernos un poco del mismo. Esto definitivamente no sería posible sin ti.

Agradezco a cada uno de mis sinodales por su apoyo y empeño que pusieron en analizar el documento para hacerlo crecer. Para mí es un honor contar con grandes catedráticos como ustedes influyendo en mi trabajo. Que cuatro de los profesores que marcaron más mi camino académico aceptaran colaborar en mi trabajo de titulación es un orgullo del que siempre me ufano. Los conocimientos que adquirí de ustedes en cada materia que llevé, créanme que me han sido útiles en mi experiencia profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.) espero que con este gran esfuerzo que he puesto en el presente trabajo logre ayudar a mucha gente en desarrollo profesional o académico en sus investigaciones de Lean Manufacturing, Construcción o Lean Construction. De esta manera espero devolver de una pequeña forma todo lo que esta prestigiosa institución académica me ha brindado, esencialmente de forma educativa, pero también haciéndome un profesional más integral atribuyendo a mis habilidades culturales, sociales y éticas. Gracias U.N.A.M. por darme educación desde mi bachillerato y hasta terminar mi licenciatura, además de darle educación a personas tan cercanas a mí como a mi mamá, mi hermano, mi pareja, mi abuelito, tíos, amigos, primos, etc. Desde pequeño quise pertenecer a esta maravillosa universidad y hoy es un orgullo egresar de ella con una licenciatura terminada.

A la Facultad de Ingeniería, por darme una formación tan integral como Ingeniero Industrial que me ha permitido dedicarme profesionalmente en distintas ramas de la carrera. Por tener profesores, alumnos, instalaciones y oportunidades que permiten desarrollar a nosotros sus alumnos como parte de los mejores profesionales del país. Agradezco que tuve la oportunidad de conocer a grandes profesores como mi directora de tesis, mis sinodales y otros profesores que no participaron directamente en este trabajo pero que me aportaron mucho como profesional y son Omar Llanes, Diego Nieto, Andrés Mota, Silvina Hernández, Aldo Jiménez, Germán Arconada (especial agradecimiento a los últimos dos por dejarme liberar mi servicio con ellos), etc. Gracias a la Facultad por darme gente valiosa que se quedarán en mi corazón siempre como Carmen Sánchez, Karla Díaz, Fernanda Reyes, Ernesto Montes de Oca, Sebastián Hernández, Eduardo Castellón y mi siempre querido Jonathan Téllez (QEPD).

A la Escuela Nacional Preparatoria #2 “Erasmus Castellanos Quinto”, por brindarme un grandioso bachillerato y hacerme crecer mucho como persona. Gracias porque me enseñaste a competir en un nivel muy elevado con gente que es brillante en muchos rubros. Cuando cursé clases en tus instalaciones maduré mucho al hacerme más responsable por mí mismo, me enseñaste mucho de responsabilidad afectiva con gente muy valiosa y aprendí a defenderme por mi propio ser. Fuiste de los retos más grandes que pude afrontar y me enseñaste mis capacidades. Agradezco en tu camino haberme encontrado a grandiosos catedráticos como Saúl León, Dora Villalpando, Hilda Rodríguez, Juan Pablo Balderas, etc. Además de conocer a gente que siempre atesoraré como Karla Merino, Lizbeth Hernández, Gustavo Peralta y Ángel Hernández.

A la Escuela Secundaria #137 “Delfina Huerta López”, por la resiliencia personal que me brindó y el gran nivel educativo dado. La adolescencia es una etapa difícil para todos, por lo que mantener firmes tus objetivos y contar con herramientas para cumplirlos es muy importante, en “la 137” encontré ese ambiente propicio para desarrollarme en esa etapa. Gracias por darme el gusto de ser alumno de grandes maestros como Salomé Guerrero, Ricardo Álvarez, Óscar Grajales, José Alfredo, etc. Por rara de esa etapa de la vida, he de destacar que me dio a muchos de mis mejores amigos hasta el día de hoy como Erick Quintana, Alejandro Alamilla, Marycarmen Zenteno, Paola Rosas, Quetzalli Fragoso, Joselin Gómez, etc.

A la Escuela Primaria “María de la Luz Mercado Méndez”, por darme grandes cimientos de confianza y educativos. Recuerdo esta etapa con mucha alegría, satisfacción y confianza. Mucho de lo que se me brindó en esa época me ha forjado hoy en día y lo expreso en mi forma de ser constantemente. Fui muy feliz en esa época de juegos y estudios. Agradezco haber encontrado a gente buena y noble que me dejó marcado positivamente de por vida como Uriel Sánchez, Wendy Pérez, Amanda Bravo, Osman Gutiérrez, etc.

Al Liceo Emperadores Aztecas, por darme una formación y bases más integrales posibles. Me parece que fue un primer acercamiento al mundo académico que fue muy agradable,

pues no solo fui a aprender lo típico de una escuela, sino que también me dieron cimientos fuertes de inglés y música que posteriormente me serían muy útiles para el resto de mi vida. Debido al largo tiempo que ha pasado no recuerdo a mucha gente, pero sí a mi mejor amigo de ese entonces Diego Sack.

A la Tuna de la Facultad de Ingeniería, por enseñarme como en ningún lugar las habilidades blandas para ser un buen profesional. Porque aquí aprendí a tener carácter, a debatir con argumentos y tanto a respetar como a ganar jerarquías. Por ayudarme a poner el nombre de mi facultad en alto en otro rubro que me apasiona tanto como la música. Por enseñarme otra faceta mía como "Pony". Gracias por darme más fundamentos musicales que en cualquier otro lado que haya estado, es la mejor Tuna del país sin duda. En particular a mi padrino "Chihuahua" porque ha creído más en mí que nadie en este rubro y me ha brindado muchísimas oportunidades, eres alguien muy importante para mí; igual agradecer a grandes amigos que me han ayudado mucho como "Balú", "Axolote", "Larva", "Chacal", "Mantis", "Piraña", "Guajo", "Cachalote", "Camaleón", "Urraca", etc.

A la Estudiantina de Prepa 2, por enseñarme a ser firme con mis creencias. Porque me inmiscuyeron de manera más formal a la música, enseñándome y expandiendo enormemente mis conocimientos en esta disciplina. Porque aquí aprendí que es primero lo que uno desea a largo plazo que pequeños disfrutes. Conocí y puse a prueba mis capacidades de liderazgo, además de convencimiento a la gente. Un agradecimiento especial a Ernesto Olivares por los cuidados que tuvo hacia mí, además de los grandes consejos brindados y la confianza que tuvo en mí. Siguiendo la línea marcada de "amistades eternas" agradezco a personas valiosas para mí como Natalia Conde, Aidee Silva, Amayrani Martínez, etc. Especialmente agradecer que aquí encontré una persona que quiero y admiro, Berenice Enriques, es alguien que auténticamente me cuida y procura, te quiero muchísimo.

A la primera empresa en la que laboré profesionalmente, por extenderme la mano primero que nadie para poner en práctica mis conocimientos de Ingeniería Industrial, particularmente en una industria tan complicada como lo es la construcción. Por demostrarme mi capacidad de carácter y empuje para sacar el trabajo adelante, además de hacerme confiar en mi inteligencia para aprender rápido procesos tan particulares como los de la construcción. Te agradezco acercarme a gente tan profesional que me enseñó tanto como Antonio Mata, Alonso Maldonado, Gabriela Quijas, Adán García, etc.

A la segunda empresa que laboré de manera profesional, por enseñarme a seguir mis principios éticos y a creer en mí. Por acercarme de manera profesional a la logística y dejarme implementar ideas que tuve para hacer más eficientes sus procesos. Fue un gusto cruzarme con profesionales como Betsaida Peralta, Jesús Cervantes, Cuatlicue Estrada, Jorge García, Flavio Morales, Julio Ramírez, etc.

A la tercera empresa donde laboré como profesional, por demostrarme el buen profesionalista que puedo ser en el ambiente correcto. Por darme una razón tan fuerte para laborar como cuidar la salud de nuestros pacientes. Por entender lo que quiero en el futuro, ser empático con él y ayudarme a alcanzar lo que deseo. Gracias al mejor equipo de trabajo al que he pertenecido hasta el momento, específicamente a Ángel Guzmán, Leonardo Torres, Andrea Camero, Tania Gordillo, Carlos Paredes y Hugo Yañez.

“In my life, I've loved love them all...” (Lennon & McCartney, 1965)

Propuesta de Multimetodología para una Producción Esbelta en la Construcción (Lean Construction)

Introducción

El principal objetivo de un profesional de la Ingeniería Industrial es efficientar los procesos de las empresas para incrementar la productividad de la misma. La construcción, por su parte, es una industria con procesos de producción estables, repetitivos y previsibles, comúnmente hechos en sitio, mismos que son complejos y pueden ser optimizados. La unión de la Industria de la Construcción con un ingeniero industrial puede resultar en la mejora de los amplios procesos en la construcción y el incremento de la calidad en los mismos.

De los principales conocimientos con los que cuenta un Ingeniero Industrial son aquellos que le permiten tener una planeación de aquello que se desea producir. Esto se generará armando un tren de producción con una secuencia lógica que tome en cuenta objetivos parciales para que, basado en ellos, se pueda obtener un objetivo general ambicioso, que el tren de producción permita que la planificación sea medible respecto al tiempo y que sea clara para todas las partes con la intención de poder programar claramente los insumos a ser utilizados para conseguir el objetivo general entiendo por insumos al personal, material y herramientas o equipos.

Una vez teniendo una planificación clara y medible temporalmente se debe lograr controlar lo programado, esto se conseguirá ponderando las actividades dejando claro cuáles son aquellas que impactan severamente en lo planeado tanto si son realizadas como si no lo son, lo anterior con el objetivo de hacer medible la producción acorde a la relevancia de lo producido. El objetivo de medir lo planeado de acuerdo con la relevancia que tiene cada actividad es para observar las desviaciones con las que cuente el plan y poder tomar acción acorde a esas desviaciones con todos los involucrados, mismos que deben de estar enterados y preferentemente totalmente de acuerdo de la manera en la que se mide el rendimiento.

La filosofía Lean tiene como objetivo hacer más esbeltos los procesos de producción, usando los recursos necesarios para conseguir un objetivo generador claro y evitando generar desperdicios. Implementar una filosofía de este tipo puede ayudar a lograr los objetivos en un tiempo estipulado, a reducir costos, controlar los procesos productivos y cuidar la calidad del producto.

La Industria de la Construcción enfrenta diversos problemas como la falta de mano de obra, falta de gestión en la entrega de materiales, sobrecostos, el trámite tanto de licencias como de permisos, gastos no proyectados, errores al momento de ejecutar del proyecto y deficiencia en la calidad esperada.

El interés en explorar y resolver las problemáticas de la Industria de la Construcción con una visión industrial es porque se piensa que con los diversos conocimientos, herramientas y habilidades con las que cuenta un Ingeniero Industrial pueden ayudar a prevenir las problemáticas anteriormente planteadas o mitigar su impacto si suceden, resultando lo anterior con un aumento en la productividad, entendiendo lo último como la relación de los bienes producidos con la cantidad de recursos utilizados para hacerlos. Lo anterior se traduce con beneficios para aquel que produce o invierte (en este caso, aquel que construye) como previsión de la mano de obra, reducción de desperdicios, evitar sobrecostos, agilizar los trámites burocráticos necesarios, tener certeza de los gastos que se realizarán, minorizar errores en la ejecución y obtener la calidad esperada, para así obtener una mayor rentabilidad al momento de dar la funcionalidad objetivo al proyecto construido.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una metodología basada en principios de Lean Manufacturing que optimice los desperdicios en la edificación a través de una planificación que defina el tren de producción y tome en cuenta actividades, suministros, calidad, personal y seguridad con sus respectivos indicadores, para controlar el cumplimiento de los objetivos y así reducir el impacto de las incidencias.

Objetivos Particulares

- Elaborar una metodología que ayude a identificar las causas de los retrasos que se presenten durante el desarrollo de un proyecto de construcción y de esa forma proponer soluciones basadas en metodologías de Lean Construction cimentadas principalmente en los recursos materiales y humanos, sin dejar a un lado la seguridad.
- Proponer un procedimiento para identificar aquellas actividades que tienen mayor impacto en el tren de producción y clasificarlas para definir indicadores que permitan tener un mejor control de proceso.

Problemática

Se sabe que muchos de los proyectos de construcción tienen retrasos tanto por una mala planeación como por no saber responder a los imprevistos, entonces es necesario poner en acción una metodología que ayude a minorizar el impacto de estos factores que no apoyan a que los proyectos sean eficientes. Se trata de resolver el tema de una planeación que va empujando y se va modificando de acuerdo a lo que va pasando en lugar de basarse

en una fecha término e ir haciendo una planeación de actividades tomando en cuenta los factores externos que pueden influir.

Klynveld Peat Marwick Goerdeler (KPMG) (2023) estimó que un 50% de los proyectos de construcción a nivel mundial se entregan a destiempo, por lo que las entregas impuntuales se convierten en un área de oportunidad grande con la que cuenta la construcción. Al ser una industria puede ser perfectamente ajustada a una filosofía que ayude a reducir los retrasos con los que la industria cuenta e inclusive puede hacer que los proyectos se entreguen con anticipación.

Un gran problema que se presenta en la construcción para quien invierte, sin importar si es público o privado, son los sobrecostos. Un dato brindado por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) en 2013 indicaba que alrededor de un 94% de los proyectos de construcción presentaron sobrecostos; es un dato lejano temporalmente ya que no se encontró uno más actualizado, pero ayuda a darse una idea de la desviación existente en una gran mayoría de proyectos de esta industria.

El presente proyecto tiene como objetivo plantear una metodología para una mejor planeación de capital de los elementos que influyen en el desarrollo del proyecto, particularmente al momento de la producción que toma en cuenta factores tales como la mano de obra, materiales, equipo y demás costos. Cabe resaltar que este trabajo no se centra tanto en procesos administrativos, legales o regulatorios dentro de la construcción por lo que no se ahondará en la obtención o programación de costos concernientes a esos rubros.

Por otro lado, también se invita a tener un mayor manejo del presupuesto al tener a la par un mejor control de producción que tome en cuenta los factores que se considera son los que más impactan en los sobrecostos en la construcción, según Almanza (2021), primordialmente la prevención de retrasos y la mala ejecución de lo planificado controlando puntualmente el tren de producción planteado, mejorando temas de comunicación de la producción, estableciendo una expectativa similar en tiempo y costos con todos los involucrados (particularmente clientes y subcontratistas) y tratando de impulsar tener un diseño cerrado, claro y unificado antes de empezar el proyecto, que igual temas puntuales o técnicos de diseño no son un eje central de la tesis aquí desarrollada.

La metodología toma en cuenta la calidad del proyecto, porque es un criterio de liberación de actividades y es un factor que puede atacar tanto la temporalidad del proyecto como de presupuesto. Un conflicto que se tiene es que la calidad es costosa, por lo que se deja a un lado y se convierte en un rubro en el que se invierten pocos recursos. Según Medina (2021) las empresas de construcción en México tienen los mismos problemas de calidad desde el año 2000 hasta 2020 por lo que la industria ha evolucionado muy poco en los últimos años, lo anterior debido a usos obsoletos de Planeación y Control de la Producción, por controles poco eficaces de calidad, poco cumplimiento en plazos de entrega, falta de coordinación y gran cantidad de retrabajos, todo lo anterior a pesar de la existencia de penalizaciones económicas.

Otro factor que toma en cuenta el presente proyecto es la Seguridad en la Industria de la Construcción, pues tiene grandes áreas de oportunidad ya que la Industria de la Construcción fue la segunda industria en México con más accidentes en 2019 siendo un 8% de los incidentes laborales de ese año según Gutiérrez (2019). En el mismo texto de

Gutiérrez se especifica que hay una tasa de mortalidad a nivel mundial es de 11 trabajadores por cada 100,000 en la industria según la Organización Internacional del Trabajo (OIT). Esta cantidad de incidencias y áreas de oportunidad son importantes para el presente trabajo que toma mucho en cuenta estos factores para proponer metodologías, pues entiende que el cuidado del personal es importante dentro y fuera de los proyectos.

Por último, en una revisión hecha por Hernández (2024) a un estudio publicado por la Universidad de Gotemburgo se define que para el personal relacionado a la Industria de la Construcción es más complicado hablar de sus problemas de salud mental e inclusive de intenciones de suicidio. El mismo estudio revisado por Hernández (2024) indica que los líderes de proyecto influyen mucho en la salud mental del personal de los proyectos de construcción, los cuales es muy importante que sean empáticos y solidarios para que sus empleados no presenten tantos problemas de salud mental. Estos rasgos del ambiente laboral dentro de la construcción también son procurados en la presente propuesta de metodología, pues se considera como una parte vital del éxito de su puesta en marcha la estabilidad mental del personal.

Alcances

Los principios de Lean Manufacturing tienen como fin hacer más esbelto cualquier sistema de producción, lo que implica reducir a lo justo todos los insumos para de esa forma disminuir todos los posibles desperdicios. Lean Manufacturing es una filosofía aplicable a cualquier sistema productivo o industria por su gran funcionalidad y adaptabilidad. Lo principal que necesita una industria para poder implementar la filosofía Lean es querer hacer más eficientes sus procesos estando dispuestos a quitar lo que se detecte no es funcional, agregando nuevos métodos de trabajo y ajustando los ya existentes, teniendo un objetivo al que querer llegar.

La Industria de la Construcción es una de las que más puede generar desperdicios por la gran cantidad de trabajos, personal y materiales que la rodean. Es una industria óptima para esta clase de metodología porque tiene muchas áreas de oportunidad para poder ser más eficiente. La construcción no es una industria convencional porque no tiene un tren de ensamble lineal en movimiento, sin embargo, sigue siendo industria al tener un producto final y tiene un método de ensamble distinto al tener el componente principal fijo, mismo que se le van agregando componentes y valor con cada trabajo que se realiza, análogamente se realiza con una lógica y secuencia que es lo mismo a un tren de producción.

Para que pueda ser funcional la metodología que se plantea en el presente trabajo se debe tener claro el producto que se desea obtener al final tomando en cuenta su uso, funcionalidad, diseño y materiales. Esto se pide para tener un objetivo más claro y con ello poder hacer una planeación que ayude a llegar a lo planteado, si con esto se logra obtener un tren de producción a seguir, la metodología planteada será funcional porque dará una línea que se pueda hacer más esbelta ya que será planeada y cuidada para cumplir lo previsto.

Esta metodología está enfocada a construcciones de tipo edificación porque son proyectos que tienen una producción mayormente secuencial en comparación de las demás, además que es menos complicado tener un control sobre el mismo al encontrarse en un área que comúnmente es accesible y sencilla de recorrer, además muchos controles físicos serían particularmente sencillos de llevar en un área acotada como las que son desarrolladas en las construcciones de tipo edificación.

La propuesta aquí presentada es adaptable a cualquier tipo de edificación, pero está mayormente centrada en aquellas de tipo vertical (edificaciones con tres o más niveles de altura) porque el tren de producción suele ser claro, secuencial y medible. Puede adaptarse a cualquier tipo de edificación porque la mayoría son secuenciales, pero la edificación vertical también es más sencilla porque el componente suele tener una arquitectura con formas particularmente regulares que ayudan a que la secuencia sea legible y sencilla de planear.

En cuanto al usuario, o sea los clientes de la construcción, puede ser aplicable a desarrollo de hospitales, centros comerciales, oficinas de gobierno, industrias manufactureras, restaurante, bodegas, etc. Sin embargo se considera especialmente aplicable para industrias desarrolladoras tanto de espacios para oficinas como para empresas inmobiliarias o tiendas departamentales, ya que sus proyectos suelen ser secuenciales o parecidos en su mayoría de espacios, lo que permite tener más claro el tren de producción. Se entiende que todos los proyectos de construcción tienen zonas arquitectónicamente diferentes como pueden ser estacionamientos, áreas comunes, cocinas, comedores, etc, pero la mayoría de sus espacios son muy parecidos.

A pesar de lo anteriormente mencionado la metodología puede ser aplicada a cualquier tipo de industria final o cliente, sólo que podría ser más complejo por la variedad de áreas distintas que pueden tener y las diferentes vertientes de trenes de producción posiblemente existentes. Otra razón que puede complicar la aplicación del método es por el costo de poner en práctica esta metodología respecto al tamaño del proyecto, debido a que los costos inherentes pueden desajustar el presupuesto innecesariamente o representar un costo muy significativo respecto a otros.

Marco Contextual

La Industria de la Construcción en México

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) define a la construcción como “Sector dedicado principalmente a la edificación, a la construcción de Ingeniería Civil, a la realización de trabajos especializados de construcción como preparación de terrenos, y a la supervisión de la construcción de obras con la finalidad que se respeten los tiempos programados, así como la calidad conforme a lo estipulado”. Otra definición interesante brindada por el INEGI es la de Cadena de Valor dentro de la Construcción, ya que concierne al presente trabajo, la definición es “Conjunto de actividades interrelaciones que involucran un proceso de producción. En cada fase del proceso se genera un valor y se va agregando hasta terminar dicho proceso” (INEGI, 2023)

En 2022 el Producto Interno Bruto de la Industria de la Construcción significó un 6.4% del total nacional y es el sexto sector que más contribuye a la economía mexicana según la publicación “La Industria de la Construcción y los Servicios de Apoyo a la Construcción” publicado por el INEGI en 2023. Los tres subsectores de la Industria de la Construcción que más invierten localmente son la Construcción de Obras de Ingeniería Civil, Industria de la Construcción y Edificación en ese orden.

La construcción también impacta nacionalmente añadiendo valor a los bienes durante el proceso productivo, o sea es usado para pagar remuneraciones, las ganancias, (excedente bruto de operación) y los impuestos netos de subsidios. Lo anteriormente mencionado se denomina como “Valor Agregado Bruto”, mismo que tiene un valor promedio nacional de 54.9% y la construcción está debajo de ese valor con 49.4%. Los principales sectores demandantes para la Industria de la Construcción en orden son la edificación de vivienda, obras públicas, actividades legislativas, minería y educación.

Por otro lado, la Industria de la Construcción impactó en un 26.73% de las actividades de la economía nacional ya sea generando empleos o ingresos. El sector económico que más impacta es al terciario pues de su impacto total el 59.64% es a éste sector, después al secundario con un impacto de su total de un 40.35% y el sector primario se estima que tiene un impacto nulo. Los servicios que mayor apoyo brindaron a la construcción durante el 2023 de mayor a menor fueron Servicios de Ingeniería con un 29.3%, Servicios de Arquitectura con 10.1%, Servicios de Reclutamiento de Personal Permanente con 8%, Computación con un 4.9%, Muebles de Baño con 3.3%, Contabilidad con 2.8% y Servicios de Limpieza con un 2.4% (INEGI, 2023)

De manera directa la construcción produjo en 2022 alrededor de 430,615 empleos directos y 82,354 indirectos. Los empleos profesionales directos que más brinda esta industria son de ingeniería con un 53.1% de la población, la arquitectura con un 21% y el levantamiento geofísico con un 13.5% (INEGI, 2023)

La Industria de la Construcción usó insumos tanto de origen nacional como internacional. La mayor parte de sus insumos son nacionales, por lo que su influencia económica nacional genera beneficios tanto en la generación de empleo como por la adquisición de bienes producidos en el país. Se sabe que el 82.1% de la inversión en la construcción se queda dentro de México y el 17.9% restante se usa en recursos extranjeros. Los tres recursos más importados son plásticos y hule, equipos de transporte y fabricación de productos metálicos; por otro lado los menos importados son minerales, obras de ingeniería civil prefabricadas y servicios profesionales tanto científicos como técnicos. (INEGI, 2023)

Los cinco servicios que más se adquirieron en 2023 dentro de la construcción de manera nacional fueron los de reclutamiento de personal permanente (100%), servicios de limpieza (100%), servicios de contabilidad (95%), muebles de baño (92.7%) y petróleo (92.3%). por otro lado, los cinco servicios más adquiridos internacionalmente en el mismo periodo fueron servicios de arquitectura (99.9%), servicios de ingeniería (99.7%), computación (68.9%), productos de limpieza (26.6%) y servicios impresos (14.8%).

Los seis estados en México que más cantidad de edificaciones en construcción activa tuvieron en 2022 fueron la Ciudad de México con 14%, Nuevo León con 12.1%, Jalisco con 10%, Chihuahua un 6.7%, el Estado de México con 4.7% y Guanajuato con 4.7%, tan sólo en esos cuatro estados se concentra el 52.2% de las edificaciones en el país, por lo que se

ve lo concentrado que está este subsector de la industria en prácticamente el 20% de los estados del país.

Los precios de la construcción varían mucho, un ejemplo es el concreto premezclado que creció a una tasa debajo del 11% en 2022 y el precio de la varilla llegó a variar hasta un 50% en 2021.

El subsector denominado como “Edificación” es definido por el INEGI (2023) como aquel “Dedicado principalmente a la construcción de vivienda unifamiliar o multifamiliar” aclarando también lo siguiente: “Puede tratarse de trabajos nuevos, ampliaciones, remodelaciones, mantenimiento o reparaciones de edificaciones”. La edificación es la actividad más importante con 47% de las unidades dedicadas a la construcción, dentro de las mismas participa el 56.6% y aporta el 47.8% de la producción bruta.

Particularmente en la construcción residencial en México los precios pasaron de variar un 6% a inicios de 2019 en lo general a 2% terminando 2024 teniendo una máxima variación en ese periodo del 14% a mediados de 2022 y una mínima de 0% a principios de 2020. Los precios de los materiales en la construcción residencial pasaron de variar un 6% a principios de 2019 a un 2% a finales de 2023 con una máxima variación 16% a mediados de 2022 y una mínima de -1% a principios de 2020. Finalmente, la mano de obra pasó de variar un 7% a principios de 2019 a un 8% a finales de 2022, siendo 10% la mayor variación presentada a principios de 2022 y la mínima variación un 4% presentada a mediados de 2021. Las tres ciudades con mayor aumento en el precio de la construcción residencial fueron Tapatitlán, Jalisco con un 11.7%, Matamoros, Tamaulipas con un 9.3% y Monterrey, Nuevo León con 8.9%. Las cinco industrias más demandantes para la Industria de la Construcción son la edificación de vivienda multifamiliar con porcentaje del 15.9%, servicios de ingeniería (planeación y diseño de edificaciones, paisajes o planes de uso de suelo) con 8.7%, servicios eléctricos (generación, transmisión y distribución) con 5.9%, edificación de inmuebles comerciales con 4.7% y carreteras con 4.2% (INEGI, 2023)

La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) (2024) estima un crecimiento de entre un 3% a un 5% de la Industria de la Construcción a cierre del año 2024, siendo así la potencia número 12 a nivel mundial de esta industria. La misma organización dio a conocer un crecimiento de 15.6% del Producto Interno Bruto (PIB) dentro del sector a cierre de 2023.

Según lo publicado por la Secretaría de Economía (2024), durante el segundo trimestre de 2024 creció un 10.9% respecto al primer semestre del mismo año. Los tres estados en 2019 con más proyectos de construcción en orden son la Ciudad de México, Jalisco y Nuevo León. Por otro lado, los estados con mayor producción económica bruta en México en 2019 fueron Ciudad de México y Nuevo León, mismas que fueron las entidades con más ingresos.

A inicios de 2024 la Secretaría de Economía estimó que alrededor del 6% de la población en México trabaja en la Industria de la Construcción siendo principalmente Albañiles, Mamposteros y Electricistas las profesiones más ocupadas. Los estados con más población ocupada en la Industria de la Producción son Estado de México, Jalisco y Veracruz. La edad promedio del personal en la construcción durante el primer trimestre de 2024 es 40 años. El promedio de escolaridad en la Industria de la Construcción es finales de la secundaria y principios del bachillerato.

En mayo de 2024 se registraron 27,145 empresas de las cuales el 51.05% cuentan con 0 a 10 empleados, otro 38.12% que tienen de 11 a 50 empleados, además de un 5.73% de las empresas que cuentan con 51 a 100 empleados y finalmente con un 5.1% de empresas que tienen más de 100 empleados (Secretaría de Economía, 2024).

En el Censo Económico 2019 las tres principales problemáticas que enfrentaron empresas constructoras conformadas de hasta 10 personas fueron Inseguridad Pública (17.4%), baja demanda (15.6%) y altos costos en materias primas; por otro lado, las tres principales problemáticas de las empresas conformadas de 11 a 50 personas fueron los altos impuestos (15.1%), inseguridad pública (13.4%) y baja demanda (13%); las tres principales problemáticas de las empresas conformadas de 51 a 250 personas son los altos impuestos (19.6%), altos costos en materias primas (15.1%) e inseguridad pública (12.9%); finalmente, las empresas conformadas por más de 250 personas tienen de problemáticas los altos impuestos (18.8%), altos costos de materias primas (17.1%) y exceso de trámites gubernamentales (13.2%).

En 2018 el 4.66% de las empresas constructoras cumplieron con alguna norma ambiental, el 36.3% no sabía que cumplía con alguna norma por lo que no se certificaron en la misma causado a que no tienen personal especializado en protección ambiental y el 59% no cumplió con ninguna norma ambiental ya sea intencional o accidentalmente. De acuerdo con la misma información de la Secretaría de Economía los cinco estados con empresas que cuentan con más personal para protección ambiental son Ciudad de México (CDMX) con 9.79%, Querétaro con 9.6%, Tabasco con 9.57%, Campeche con 8.81% y Veracruz con 8.44%. (Secretaría de Economía, 2024)

El porcentaje de empresas de la construcción que separan residuos son un 76.4% que separa papel, 67.6% que separa metal y un 63.5% que separa madera, mientras sólo un 2.22% aplicaron tratamiento de aguas residuales, según la misma información de la Secretaría de Economía.

En 2019 el 3.4% de las empresas grandes de la Industria de la Construcción invirtieron en protección ambiental siendo una inversión total de 2,748 millones de pesos (MXN) para que la inversión sea porcentualmente dividida un 36.50% para para manejo de residuos peligrosos, un 32.96% para residuos no peligrosos y un 30.53% para mantenimiento del parque vehicular según la Secretaría Económica (2024).

“En 2019, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) registró casi 400,000 accidentes a nivel nacional, de los cuales, 33 mil ocurrieron en la industria de construcción de edificaciones y de obras de ingeniería civil, es decir, el 8% del total y que entre ellos, 159 trabajadores fallecieron” (Andamios Express, 2020). Los 3 tipos de accidentes más comunes en la Industria de la Construcción según Andamios Express (2020) son caídas con 33.5%, electrocuciones con un 10% y golpes por caída de objetos con 10%. Los accidentes anteriores son por descuidos en los procesos, por desorden físico o de planificación en los mismos, en su mayoría prevenibles; pero se destaca que aquello que ayuda a que en su mayoría no sean tan graves es por el correcto uso del uso de Equipo de Protección Personal.

Según datos del Censo Económico realizado en 2019, los cinco estados con mayor porcentaje de inversión económica creciente tomando en cuenta empresas privadas y el sector público respecto a los tres años anteriores al censo fueron la Ciudad de México con

10%, Colima con un 9.66%, Guanajuato con 9.39%, Estado de México con 8.35% y Querétaro con 8.28% en ese orden. Por otro lado sólo el 5.51% de las mismas empresas tuvieron innovación en el mismo año, del cual el 3.57% de las actividades innovaron el productos, 2.65% tuvo innovación organizacional, 2.61% innovó en procesos, 1.54% en innovación para adaptación y 1.36% en el mercado. En el mismo censo mencionado anteriormente se detectaron que el 0.44% de las empresas tuvieron personal calificado para innovación de procesos o productos y el 0.33% de las empresas tenía personal capacitado para captar las innovaciones más recientes en la Industria de la Construcción y ponerlas en práctica dentro de su organización.

De enero a noviembre de 2023 la producción de las empresas constructoras en edificación creció un 9% en comparación de 2022. De diciembre de 2022 a enero de 2023 creció un 13.7% de acuerdo al informe del CMIC de enero 2024. En el mismo informe se detalla que la confianza empresarial en la Industria de la Construcción en México es de un 50.6%, lo cual está encima del promedio por 0.6%

En el informe del CMIC de febrero 2024 se detalla que la producción de las empresas constructoras en la rama de la edificación creció un 10% respecto a 2022. Se detalla también que a finales de 2023 hubo una variación de 3.11% de los precios generales en insumos respecto al año anterior.

La reforma publicada al “Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas” publicada en febrero de 2023 menciona sobre sanciones por retrasos en proyectos de construcción en México que “La determinación del atraso de realizará con base en las fechas críticas (...) en la fecha de terminación; las fechas citadas deberán estar fijadas en el programa de ejecución convenido”. En el artículo 88 del reglamento anteriormente citado se expresa que la retención económica a las contratistas será determinada basada en el contrato y en el nivel de retraso según el avance físico pactado en el programa de ejecución aceptado, también se menciona que las retenciones económicas podrán ser recuperadas si los tiempos se regularizan. Ya cuantificadas las retenciones económicas, le serán reportadas a la contratista por medio de una bitácora u oficio, el monto económico será aplicado a la estimación correspondiente a la fecha en la que se determine el retraso

Lean Manufacturing en la Construcción (Lean Construction)

Según Botero (2021) el concepto de Lean fue acuñado en la construcción por primera vez gracias Lauri Koskela en 1992 desde la publicación de su escrito titulado “Application of the New Production Philosophy in Construction”. En el documento se presenta una filosofía para entonces innovadora donde se plantean esquemas de producción basados en filosofías industriales y adaptadas a métodos de construcción tradicionales.

Botero también menciona la creación del International Group For Lean Construcion (IGLC) en 1993 conformado por una red de profesionales en arquitectura, ingeniería y construcción quienes están alineados a renovar la educación, investigación y práctica en distintos sectores de la construcción. Todo lo anterior lo hace desde un enfoque de producción Lean

del sector manufacturero, aplicándolo al diseño, planificación y control de proyectos de construcción. El IGLC adoptó el término “Lean Construction” para describir el enfoque de diseñar, planificar y realizar las actividades de construcción logrando minimizar los desperdicios y generando mayor valor. Desde su creación los miembros del IGLC trabajan para generar una filosofía, teoría y herramientas para el mejor desarrollo de Lean Construction.

La filosofía Lean fue aplicada en primera instancia en la industria manufacturera, específicamente se empezó en el Sistema de Producción Toyota donde se dio origen a nuevos procedimientos que cambiaron la forma de gestionar la producción. El modelo Lean de Toyota se perfeccionó aplicándolo a procesos de diseño, almacenaje, producción y ventas, pero no fue sencillo. Se identifican algunos antecedentes de modelos de producción similar que ayudaron a consolidar la filosofía Lean. El principal impulsor y creador de la filosofía Lean en Toyota fue el ingeniero Teiichi Ohno, mismo que se encargó de visitar varias plantas de producción de automóviles en Estados Unidos e identificó deficiencias en los recursos utilizados, mismas que son fundamentales para plantear el sistema de producción para entonces innovador y que ayudó a entregar soluciones a las deficiencias encontradas. (Botero, 2021)

El antecesor al proceso Lean de Toyota fue el sistema de producción en masa desarrollado por Henry Ford en la Ford Motor Company quien innovó en la producción en masa y cambió la producción artesanal. Lo anterior hace recordar que la construcción es un sistema de producción en masa que es necesario evolucionar para que tenga cambios radicales. Se puede observar la evolución de los sistemas de producción desde el artesanal a la producción en masa y la misma que evolucionó a un sistema de producción con filosofía Lean.

Las grandes ganancias en la producción manufacturera han sido logradas debido a los cambios de filosofía como la de producción Lean. La filosofía de producción Lean se basa en otras metodologías como Just In Time o Gestión de Calidad Total. Las metodologías anteriormente mencionadas han sido aprovechadas en distintas industrias como las de producción, servicios, administración y desarrollo y se estima que en la construcción a nivel mundial desde mediados de los años 1990 (Alarcón, 1997).

La metodología de Lean Construction es usada en todos los procesos de construcción dentro Reino Unido, de hecho en 2013 se supo que la gran parte de sus proyectos de construcción usaban dicho modelo. En 2022 existían 24 países con institutos nacionales dedicados a Lean Construction.

En 2019, la gestión de diseño fue considerada parte esencial de la metodología de Lean Construction. (Koskela. 2020). Uno de los problemas que afronta esta metodología es adaptarse a los procesos tecnológicos y aprovecharlos para sus fines.

Metodologías de Planeación y Control en la Construcción Mexicana (Lean Construction en México)

La CMIC impulsa un diplomado en Lean Construction, dirigiendo sus esfuerzos a gerentes de proyectos, gerentes de obra, superintendentes de obra y residentes. CMIC se centra en

que las empresas mexicanas conozcan y apliquen la filosofía Lean, lo que se sustenta en cero desperdicios e incremento en la productividad. El objetivo general es que las empresas mexicanas sean más competitivas internacionalmente.

En México existe una empresa dedicada específicamente a impulsar la metodología de Lean Construction en el país, dicha organización se llama Lean Construction México, surgió en 2012 y se compromete a fortalecer las competencias de los profesionales de la construcción. Tienen su programa especializado en profesionales del sector inmobiliario y modelos enfocados en mejorar la productividad, eficiencia y competitividad. La organización se encarga de la divulgación del método, formar personal especializado, certificar profesionales, certificar empresas y consultoría en proyectos todo por medio de programas especializados.

En 2024 la página “Inmobilare”, editora líder en contenido relacionado al sector inmobiliario en México desde el año 2000, dio a conocer los beneficios de Lean Construction y su interés en impulsar dicha metodología para los desarrollos relacionados con la industria inmobiliaria. Ellos impulsan mucho esta metodología sobre todo pensando en la satisfacción del cliente final. Inmobilare promueve el estudio de Lean Construction haciendo ver que no sea un gasto sino como una inversión para la persona, el proyecto y toda la empresa en general.

En México se lleva a cabo el Congreso Internacional de Construcción 4.0 que es organizado por la Universidad Tecnológico de Monterrey y en ella se tiene como uno de sus temas centrales el impulso de la metodología Lean. Dentro de ese congreso se cuenta con expertos provenientes de Chile, Dinamarca, España, Canadá, Bolivia, Perú, Estados Unidos y México. Incluso en este Congreso se propone e impulsa el llevar a cabo proyectos de construcción de manera virtual y remota utilizando metodologías del tipo Lean Construction.

La empresa “Hermosillo”, cuya labor es liderar la innovación Industria de la Construcción en México estando a la vanguardia en tecnología especializada para la Construcción, dicha empresa tiene como una de sus bases principales y como unas de sus metodologías más impulsadas a aquellas relacionadas con Lean Construction, ya que las relaciona muy fuertemente con la mejora continua en procesos, en este caso de construcción. Esta empresa obliga a que todos sus empleados tengan alguna certificación relacionada a Lean Construction, además que facilita a sus colaboradores externos para que consigan alguna certificación del estilo por las ventajas que tiene que todos en un proyecto trabajen bajo una filosofía similar, además de tan funcional.

En cuanto a metodologías de planeación y Control de la Producción, Sergiyenko (2024) en su trabajo “Estrategias de Incremento de Productividad en empresas de Arquitectura” propone estrategias para mejorar el desempeño en los proyectos de construcción que se enfocan en la gestión de tiempo, eficacia operativa y optimización de costos. Dentro de su modelo propone un método de evaluación por medio de Key Performance Indicators (KPI) formulados específicamente para disciplinas como arquitectura e ingeniería basadas en tiempos, presupuesto, calidad, eficiencia, seguridad y rentabilidad. Algo interesante es que dentro de sus KPI es que propone fórmulas matemáticas y con datos reales permite darse una idea del desarrollo de las mejoras propuestas, además de obtener resultados dentro de los que considera como áreas de oportunidad el control de calidad de áreas, control de

seguridad para prevención de incidencias, optimización de tiempos (desde la contratación) y la satisfacción de los empleados como factor de éxito del proyecto. Otra parte relevante del trabajo es el estudio de desviación de costos por defectos de calidad (7.41%), además de desviación por cambios al proyecto (8.36%).

Por último, existe un trabajo realizado por Ayala en 2022, que trata de determinar la correlación entre ciertos factores en los proyectos de construcción y la productividad positiva de los mismos, lo hace por medio de medición y control de dichos factores. Algo destacable son factores generales que el personal de obra considera genera retrasos y afectan a la productividad como son el tiempo muerto, mala planeación del proyecto y falta de supervisión. Dentro del estudio realizado, el 61% de las personas encuestadas sabe que su empresa realiza planificación de proyecto de forma continua, el 31.7% considera que solo planifican de manera temporal y el 7.3% no planifica en ningún momento. Además, encuentra que el personal encargado de la planeación del proyecto suele ser el director del proyecto en un 31.7%, el gerente del proyecto en un 26.8%, el superintendente en un 24.4% y el resto en un 17.1%. Por último, su estudio arroja que el 70.7% de los encuestados considera que la planeación funciona, mientras que el 22% cree que no es de ayuda y el 7.3% lo considera irrelevante.

Marco Teórico

Planeación y Control de la Producción (PCP)

González (2005) define la producción de una empresa “tiene como objetivo la generación de materiales, bien sean de consumo o de servicios”. En todo el proceso de producción se utilizan recursos (entradas) para obtener resultados como productos o servicios (salidas) con la mayor calidad y con el menor costo, lo que se traduce como una mayor eficiencia en el sistema. Los procesos de planificación y control se deben establecer en distintos niveles de objetivos y horizontes temporales de manera táctica, lo que se denomina como Planeación y Control de la Producción (PCP).

El sistema de planificación debe tomar en cuenta según González (2005):

- Planificación de la capacidad: Determinar la inversión en instalaciones y maquinaria.
- Previsión de ventas: De los distintos productos basados en previsiones ya acciones comerciales, debe ser el paso anterior a la planificación de la producción.
- Plan de producción: Establecimiento de planes alternativos para satisfacer previsiones. El plan de producción debe ser el más adecuado relacionando costes, materiales y mano de obra.
- Gestión de materiales: Determinar las necesidades de materiales, la gestión de stocks y determinación de inversión.
- Orden de la producción: Convierte las necesidades anteriores en órdenes concretas de producción y compra.

- Programación de la producción: Optimización en el corto plazo de recursos productivos, preparando instrucciones concretas y definiendo una serie de prioridades.

En cuanto al subsistema de control debe tomar en cuenta:

- Control de la Producción: Comparación de la ejecución de la operación con las previsiones de tiempo y costes. El Control de la Producción debe modificar o regular el plan de producción.
- Control de stocks: Control de entradas y salidas de materiales, además de los productos terminados.

El control de las operaciones implica dar seguimiento de la realización para comprobar desviaciones y tomar medidas de corrección correspondientes. Implica el manejo, procesado y estudio de grandes bases de datos. La gestión de la producción cambia de acuerdo al tipo de producto o servicio, en la construcción de acuerdo al proyecto. En cuanto al tipo de producto existen dos procesos básicos como son la producción de datos tangibles y los servicios que son intangibles (González, 2005).

La capacidad es la cantidad que se puede generar por unidad de tiempo en el proceso utilizando al máximo de recursos disponibles. El concepto de capacidad hace referencia a un valor teórico porque es poco realista que el rendimiento de los recursos sea total y que no surjan imprevistos que son difíciles de ponderar. En la construcción la capacidad es la cantidad de avance que se considera tendrá el proyecto por área y los procesos que se elaboran en la misma (González, 2005).

Por otro lado, la carga es la cantidad de producto procesado por unidad de tiempo que exige un proceso en algún momento, puede ser mayor a la capacidad por lo que el proceso no puede operar todo lo deseado, generándose así una sobrecarga. Los recursos que limitan la capacidad y originan sobrecarga son denominados cuellos de botella, mismos que en la construcción puede traducirse en maquinaria que no puede ocuparse en múltiples áreas o espacios no terminados que son esenciales para siguientes procesos por seguridad o procesos constructivos. (González, 2005)

Además, existe un plan maestro de producción que según González (2005) sirve para establecer una política de producción a mediano plazo tomando en cuenta producción, personal y materiales. El plan de producción en construcción es el plan de proyecto de construcción donde se determinan las tareas a realizar por áreas en determinadas fechas. El plan maestro de producción debe ser ágil y considerar distintas alternativas con los costos inherentes a los mismos. Para nivelar la producción se necesitan regular los recursos y el número de horas trabajadas; para nivelar los recursos se debe regular el nivel y cantidad de personal.

Otra estrategia de producción es no producir directamente nada y encargar a otros que produzcan durante un determinado periodo de tiempo o las cantidades demandadas, esta manera de suministrar producto se le denomina como subcontratación, lo anterior es muy común en la construcción al momento de establecer relaciones laborales con las denominadas subcontratistas que son empresas especializadas en un área de la construcción que realizan tareas específicas, mismas que no tienen contacto directo con el cliente, esto último lo hace directamente la Contratista general. Las empresas deben

seleccionar la política más adecuada para ser más rentables y varias de ellas pueden ser complementarias para poder nivelar la producción. No todas las formas de producción son rentables, incluso algunas pueden ser prohibidas por regulaciones legales. (González, 2005)

Las formas de fabricar centrándose en los procesos y deseos del mercado se divide en dos tipos (González, 2005):

- Producción bajo stock: Sucede cuando el cliente necesita el producto de manera inmediata, por lo anterior hay que tener producidas determinadas cantidades de producto para que el cliente no tenga que esperar. Producir de esta forma exige manejar grandes cantidades de productos, por ende deben ser más económicos lo que requiere homogeneizar los productos y operaciones, de otra manera los costos de stocks afectarían la rentabilidad del proceso. Este modelo se ve en la construcción cuando se realizan una serie de áreas o edificaciones con características arquitectónicas y civiles similares, además de ocupar los mismos materiales.
- Producción bajo pedido: Ocurre cuando los clientes pueden esperar la fabricación del producto porque es exclusivo, o sea se hace bajo diseño, porque su producción se basa en ensamblar módulos estándar. El costo es importante, pero no es una variable fundamental, ya que el cliente requiere un producto único donde lo que importa es el tiempo en el que el cliente pueda disfrutar de su producto. La gestión debe encaminarse a que todos los recursos estén disponibles en el momento que son necesarios. Estos productos no suelen tener stock en productos finales, pero sí de materias primas. Es un modelo muy común en la construcción porque en la misma es común que se realicen proyectos con características únicas, difícilmente repetibles y con materiales particulares.

Ahora, la fabricación centrándose en la rotación de inventarios tiene dos vertientes según González (2005):

- Proceso por flujo en lotes: Cualquier cambio de productos de una familia similar se debe realizar con maquinaria similar. La preparación anterior supone tiempo, preparación física de la línea de producción y costos por tener parada la línea de producción. Para minimizar el impacto de los factores antes mencionados se recurre a producir grandes lotes para distribuirlos a costos mínimos. Es el proceso más común en la construcción porque se suelen realizar actividades en cadena con características similares y con maquinaria igual.
- Proceso de flujo alternado o mezclado: Se producen pequeños lotes con rotación constante, lo que genera una sinergia que reduce los tiempos de preparación de la línea de producción y ajusta los costes a un mínimo por los factores mencionados en el proceso anterior. Es un proceso poco común en la construcción porque no se suelen realizar pequeñas áreas o que encadenen actividades sin relación entre ellas.

En cualquier proyecto de construcción es necesario tener un plan de avance y ataque para crecimiento del proyecto, lo anterior para entender qué tareas realizarán y bajo qué lógica para que el proyecto de construcción sea funcional y cumpla con las expectativas planteadas en el proyecto inicial, mismo que se tiene que tomar como objetivo. El control

de ese avance es determinante para que se cumplan con los plazos pactados y poder regular los costos que implique la producción del proyecto, además de atender los indicadores para controlar desviaciones que puedan presentarse respecto al proyecto original y que pongan en predicamento el cumplimiento de los objetivos generales del mismo en cuanto a calidad, plazos de entrega y gestión económica.

Lean Manufacturing

Lean Manufacturing tiene como objetivo central según Carreras (2021) la eliminación de desperdicios por medio de múltiples herramientas y metodologías como 5s, Jidoka, Kanban, Heijunka, SMED, TPM y Kaizen, mismas que fueron desarrolladas principalmente en Japón. Lean Manufacturing tiene como cinco pilares principales la mejora continua, el control de calidad total, la eliminación de los desperdicios, el aprovechamiento al máximo de los recursos dentro de la cadena de valor y la participación de todos los involucrados.

Que una organización implemente Lean Manufacturing habla sobre su interés en mejorar un sistema de producción por medio de la eliminación de desperdicios, es decir que se dedican a impulsar todas aquellas acciones que aportan más valor y por las que el cliente está dispuesto a pagar.

Una traducción muy atinada de la cultura al español es “Producción Ajustada”, esto porque implica cambio de hábitos, estilos de producción y preferencias, esto adecuado al panorama cultural, social y económico, lo que obliga a las empresas a ser más flexibles, a adecuar sus productos y servicios al tiempo que circula y todo apoyado en tres aspectos calidad, rapidez de respuesta y costos. El principio fundamental es que el producto o servicio debe ajustarse a lo que el cliente requiere para satisfacer sus necesidades, lo que resulta en concentrarse en las actividades que generan valor (Carreras, 2021).

El eje central para que las empresas incrementen su competitividad, según Carreras (2021), por medio de la innovación y mejora continua apegados a la tecnología, aquellas empresas que logran lo anterior tienen como resultado un ritmo frecuente y creciente en competitividad, optimización y tiempos. Otras exigencias de la competitividad y de un proceso excelente se fundamentan en la garantía de calidad asegurada, productividad y costos bajos (particularmente los indirectos), rapidez de respuesta (disminución de tiempos de ciclo), variedad de productos y flexibilidad.

Una empresa es viable a medida en que ofrece ventajas respecto a su competencia frente a los clientes según Carreras (2021). Las ventajas no sólo deben crearse, sino de competir, crecer y desarrollarse de manera constante. Una ventaja competitiva que se puede tener en la Industria de la Construcción es aplicar una metodología Lean, ya que es una forma distinta y más eficiente de producir. Que una organización tenga la capacidad de detectar las necesidades de sus clientes tiene ventajas como que aquello que ofrece aporta valor y lo necesitan.

Según Carreras (2021) Lean Manufacturing es un amplio flujo de información en la empresa y la habilidad para aprender de esa información para mejorar los procesos, lo mismo debe aplicar para la metodología de Lean Construction. Para implementar herramientas Lean se debe iniciar en involucrar al personal por medio de grupos multidisciplinarios cuyos miembros se comprometen al cambio, aportan ideas y generan mejoras continuas. Lean se fundamenta en un sistema cultural de crecimiento organizacional y con profunda

comprensión de la manera en que las personas deben trabajar juntas con una actitud nueva de inteligencia y creatividad.

Lean “es un sistema concebido para desarrollar y gestionar equipos de personas responsables, formadas y motivadas” (Carreras, 2021). En otras palabras es una cultura porque define abierta y cooperativamente la comunicación y la acción. En Lean, ya sea Manufacturing o Construction, debe existir un líder de la metodología que tenga liderazgo como característica principal.

El éxito o fracaso de cualquier organización depende principalmente de sus líderes y patrocinadores, por lo que el líder de la metodología Lean debe estar en constante formación, poniendo en práctica sus conocimientos y aprendiendo de sus errores. Los líderes deben ser carismáticos además de inteligentes, con confianza, voluntad, saber comunicarse, debe conocer a su equipo, tener conocimientos de la necesidad de la empresa, promueve el trabajo en equipo y preferencialmente con sentido del humor (Carreras, 2021). Cabe resaltar que según investigaciones psicológicas no hay rasgos comunes que generen líderes competentes, pues sus habilidades pueden variar según las circunstancias y su éxito con ello.

Para que una persona tenga éxito como líder de una metodología según Carreras (2021) dentro de una empresa debe tomar en cuenta estos tres factores:

- 1) Relaciones: Principalmente entre el líder y el grupo, los integrantes de un grupo deberían confiar en su líder, le tienen afecto y están dispuestos a seguir indicaciones. Si lo anterior es alto no debe ser necesario un nivel jerárquico para lograr sus objetivos. Las relaciones en la construcción deben ir con el cliente, supervisora, contratista general y subcontratistas, además deben ser muy sólidas con la empresa propia del líder
- 2) Estructura de tareas: Es complicado influir en tareas pobremente estructuradas y sin criterios de realización, que en el caso de tareas perfectamente definidas. Se debe definir una serie de trabajos a realizar en determinadas áreas con los alcances bien claros en la construcción.
- 3) Poder del puesto: La tarea del líder puede ser más complicada si su puesto no es tan firme o su posición no tiene tanto poder. Se sugiere que el líder pertenezca al cliente, supervisora o contratista general, pues son la parte más alta del organigrama en la construcción

La aplicación de una nueva metodología puede generar resistencia al cambio o confusión. Según lo anterior el líder de la filosofía Lean debe tener características de convencimiento en general. Empresas que han aplicado filosofías Lean sin un liderazgo claro fracasan, esto comúnmente por tener líderes que desconocen y no comprenden la filosofía Lean o que no pueden mantenerla ni mejorarla (Carreras, 2021).

“Una de las consecuencias de un proyecto de implementación de Lean Manufacturing en una empresa es que se transformará en una fábrica visual, que es un concepto que hay que definir antes de desarrollar las herramientas o técnicas Lean” (Carreras, 2021). Cualquier industria, incluyendo la construcción, obliga a las empresas a afrontar una reducción de costes, también deben incrementar la calidad, mejorar la productividad, disminuir tiempos de entrega y cuidar los niveles de inventario. Una empresa grande y

funcional debe obtener sus estadísticas, pero más importante entenderlas y usarlas a su favor.

Casi todas las empresas tienen sistemas de comunicación tradicionales como informes, teléfono, correos electrónicos o redes sociales, pero no son suficientes para la implementación de una metodología Lean. Los canales anteriormente mencionados pueden saturarse y por ello es necesario tener nuevos canales de comunicación que ayuden a producir de una manera más eficiente. Una manera eficiente de comunicación pueden ser métodos de apoyo visual que apoyen a mantener atento al equipo y que tengan información en tiempo real, que los mantenga informados y los ayude a percibir problemas. El sistema de comunicación innovador debe ser simple y transparente para todos los miembros del equipo, en el caso de la construcción debe ubicarse en áreas estratégicas (Carreras, 2021).

La simplificación de información probablemente generará reducción de costos. El personal debe tener respuesta a los problemas que se representen en el apoyo visual para incrementar la productividad y hacer más eficientes los procesos, además puede funcionar a reducir retrasos y a evitar la sobreproducción. El sistema visual de comunicación, según Carreras 2021, debe ser de fácil comprensión para todos y que pueda ser fácilmente retroalimentado. En la construcción debe ser un sistema de sencilla modificación por la distancia que puede haber entre los diversos sistemas de comunicación y resistente para aguantar el ambiente físico tan duro de la construcción.

Dentro de la comunicación general se debe crear conciencia en todo el personal sobre costos y problemas de un sistema productivo, en la construcción es deseable tomar en cuenta desde el cliente hasta todo el personal de las contratistas generales y subcontratistas, además de ser conscientes de manera clara del objetivo de producción en algún lapso, teniendo en cuenta lo producido anteriormente y la capacidad financiera. También se debe tener un incremento de moral en los empleados a partir de tener organización, dirección en equipo y asistencia técnica. Para que todos entiendan más fácilmente el proceso el mismo debe estandarizarse para que sean fáciles de reconocer al tener la misma estructura (Carreras, 2021).

La cohesión de los equipos de trabajo es más sencilla cuando existe visibilidad de mensajes para todos dentro de la producción y los mismos tienen sólo la información necesaria, además de tener una identidad común.

Hay tres elementos para estandarizar trabajos según Carreras (2021):

- Task Time: Periodo necesario para una parte de la producción o desarrollo del proyecto.
- Secuencias de Trabajo: Orden para realizar operaciones de montaje, recepción de materiales o salidas de los mismos.
- Línea de resurtido del material: Cantidad mínima de productos existentes en la línea de stock o punto temporal de pedido de tiempo donde se pedirá el material para nuevas partes del proyecto.

Para la visibilidad de procesos para todos, Carreras (2021) sugiere tres herramientas principales:

- Hojas de Control: Disponer en hojas los indicadores más importantes (producción temporal, control Kaizen, etc)
- Progreso de Producción: Esbozar una línea de progreso de la producción, la misma debe ser clara, simple y entendible para todos los involucrados.
- Control de Stock: Visibilizar el nivel de stock tanto mínimo como máximo.

Esta filosofía de trabajo que busca aprovechar al máximo los recursos y que se apoya tanto en métodos visuales tiene su propia vertiente en la construcción la cual es particularmente llamada “Lean Construction” la cual se basa en los pilares de Lean Manufacturing, además de usar como base muchas herramientas de esta filosofía, pero adaptadas a las particularidades y necesidades de la Industria de la Construcción. El objetivo de ambas filosofías es hacer más esbelta y precisa su línea de producción. Existen herramientas que son utilizadas en Lean Manufacturing pero que al ser adaptadas a Lean Construction cambian de nombre tales como Kaizen que adaptado a la construcción se denomina posteriormente como Last Planner.

Los Siete Desperdicios y más

La base de cualquier metodología Lean es eliminar el desperdicio, entendiendo al desperdicio como el uso de cualquier insumo que no añade valor, recordando que el objetivo de los procesos es ir añadiendo valor. “El modelo de gestión Lean tiene como objetivo principal el cliente, y todo lo que no sea bueno para el cliente no lo es para el sistema productivo” (Cuatrecasas, 2010). El proceso de mejora continua se basa en que mientras existan desperdicios seguirá existiendo margen de mejora, yendo inclusive más allá de los procesos de la cadena productiva.

Antes de entrar a hablar directamente de los tipos de desperdicios existentes es conveniente hablar de los tres tipos de actividades en los procesos productivos basándose en la satisfacción el cliente según Cuatrecasas (2010):

- 1) Actividades con valor añadido: Transforman materiales o información en resultados que se adaptan a las necesidades de los usuarios. Son aquellos por los que el cliente está dispuesto a pagar o aquellos que generan que algún espacio sea funcional de alguna forma.
- 2) Actividades sin valor añadido: Actividades necesarias para el sistema o proceso que no contribuyen a dar valor al producto y que no tienen relación directa con la satisfacción del cliente o construcción de un proyecto.
- 3) Desperdicios: Aquellas actividades, procesos, tiempos, espacios o materiales que no añaden valor al producto y que no son necesarios para el sistema o procesos, por lo que se pueden eliminar.

Vinculándolo con lo anteriormente expuesto, Cuatrecasas (2010) menciona que se deben tener en cuenta los tres recursos base que tiene un proceso, ya que, están muy relacionados con la generación o no de desperdicios:

- 1) Materiales: Están muy relacionados con el almacenaje, pero son aquellos elementos que se transforman en producto final.

- 2) Personal: Puede estar parado una fracción elevada de su tiempo para poder operar un proceso, es el encargado principal de añadir valor al producto transformando los materiales con ayuda de equipos.
- 3) Maquinaria y equipo: El simple hecho de que estén parados es un desperdicio, pero su sobre funcionamiento puede generar un desgaste innecesario. Son elementos necesarios para que el personal transforme los materiales en productos finales que satisfagan al cliente.

“Los beneficios de eliminar el desperdicio en el Lean Management superan, con mucho, los derivados de la elevada productividad de la gestión convencional” (Cuatrecasas, 2010). Para poder eliminar los desperdicios es necesario conocerlos e identificarlos, los mismos fueron clasificados en siete tipos según Toyota. Los desperdicios que se describen a continuación son referidos especialmente para sistemas productivos, pero pueden aplicarse a cualquier tipo de proceso o producto incluyendo sin limitaciones a la Industria de la Construcción.

- 1) Almacenaje: Los inventarios son generados para proteger a las empresas de ineficiencias como pronósticos erróneos de la demanda, desequilibrio de la producción, grandes retrabajos, malas distribuciones de planta y proveedores poco fiables. El problema con el sobre almacenaje es el mantenimiento de los inventarios ya que eso es bastante costoso, ocupa espacio, administración y manipulación de los artículos. Es un problema muy ligado a la sobreproducción, aunque hay empresas que consideran normal tener cierta cantidad de inventario, pero afectan en la productividad y el nivel de servicio brindado al cliente. Para este trabajo el sobrealmacenaje implica ocupar espacios en el proyecto para guardar material, mismas áreas que quedan inhabilitadas para más trabajos e impactan en la productividad del mismo, además de posibles gastos en espacios externos al proyecto para almacenar o en materia prima para generar espacios de almacenaje temporal (Socconini, 2019).
- 2) Defectos: El usar más recursos cuando se produce debido a defectos es un problema por el gasto en materiales, el desgaste de equipos, la cantidad tiempo-hombre requerido y los desperdicios de los recursos previamente utilizados que no sirvió para agregar valor para el cliente sino para corregir errores. Naturalmente, lo anterior tiene una afectación en costos y en pérdida de disponibilidad de recursos para la organización. (Socconini, 2019). El retrabajo también puede ser: tener a varias personas que realizan una misma actividad sin que se vea cambio, tener flujos complejos de trabajo, que el producto tenga una calidad cuestionable, errores en embarques y entregas.
- 3) Movimiento: Traslado de personas de un punto a otro del lugar de trabajo que no es indispensable para agregar valor al producto por lo que no contribuye a la transformación del producto o beneficio del cliente. Este desperdicio es fácil de encontrar cuando se observa cuidadosamente el día a día de un trabajador y se ve que el mismo camina de más ya sea para búsqueda de herramientas, materiales, información o una mala planeación de la distribución de la empresa. La manera más sencilla de distinguir este desperdicio es observar el tiempo usado para localizar materiales, personas, instrucciones o herramientas; además de hacer movimientos poco ergonómicos al agacharse o caminar; además de movimiento de producto a través de la planta (Socconini, 2019). Estos desperdicios de movimientos son

observables en obra cuando los obreros no tienen cerca su herramientas o materiales y pierden tiempo en su búsqueda.

- 4) Sobreproceso: Por más que existan procesos bien estandarizados en una empresa, pueden haber aún así actividades que no agregan realmente valor. Algunas actividades que no generan valor directo pueden ser necesarias como mantenimientos correctivos o calidad en manufactura, por otro lado hay actividades que son un total desperdicio son aquellos que comúnmente generan cuellos de botella, son producidas por falta de especificaciones del producto deseado, exceso de inspecciones, falta de equipos con dispositivos a prueba de errores, trabajos administrativos excesivos y sobreinformación (Socconini, 2019). Esto es observable en obra cuando se les dan muchas indicaciones a los obreros sobre un trabajo que es claro o cuando se le dan muchos detalles arquitectónicos a un espacios que no los necesita
- 5) Esperas: Tiempos perdidos cuando se esperan instrucciones, documentos, materiales o herramientas necesarios para realizar una actividad. Lo anterior genera retrasos en el proceso general y no se traduce en agregar valor, es el desperdicio más común en la industria por su dificultad de ser encontrado. El proceso de espera en lo que una máquina está lista es uno de estos desperdicios, hacer fila para usar una herramienta lo es y otro ejemplo son los paros esperados (Socconi, 2019). Un ejemplo común en obra son las esperas que existen en montacargas, elevadores o transportes para llevar al personal al lugar donde van a desarrollar sus labores a la hora de entrada o después de algún descanso.
- 6) Transportes: Movimientos de materiales que no agregan valor, puede ser el movimiento de productos de lado a lado, lo anterior además de ser costoso pone en riesgo la integridad del producto. En este caso se hace referencia únicamente a los transportes dentro de las instalaciones y no a la distribución con cliente. Ejemplos de estos son exceso de movimiento con equipos de transporte (grúas, montacargas, patines, etc.), muchos metros no útiles de bandas transportadoras o rampas, ubicaciones lejanas de almacenaje, demasiado personal moviendo materiales o distancias largas entre procesos y almacén. (Socconini, 2019) Esto puede verse cuando se almacenan materiales de obra lejos de donde van a ser ocupados o instalados finalmente, mismos que a final de cuentas son llevados a su destino final ocupando recursos innecesarios.
- 7) Sobreproducción: El cúmulo de desperdicios anteriormente mencionados se resume en uno solo que se considera como el mayor de todos que es la sobreproducción, ya que implica producir más allá de lo necesario. El aumento de productividad aparentemente puede parecer deseable, pero no lo es porque la producción en exceso supone anticipar producto no solicitado y redundante en costos de persona, energía y otros relacionados con la producción como stocks y espacios ocupados innecesarios. (Cuatrecasas, 2010). En construcción puede ser hasta riesgoso porque producir de más sin un plan verificado puede representar un riesgo en seguridad para quien trabaja, pero también para el producto terminado al hacer espacios o trabajos sin una evaluación de riesgo físico, constructivo e inclusive económico.

Además de los siete desperdicios anteriores, que son los estipulados comúnmente en las referencias de la industria como Cuatrecasas (2010) y Socconini (2019) también se

consideran otros desperdicios que pueden afectar en los procesos que se enuncian a continuación:

- **Talento:** El conocimiento de los involucrados que han tenido en su preparación escolar o profesional, así como su creatividad e ideas no son siempre bien aprovechadas. Se debe evitar que el personal no se sienta apreciado porque se puede sentir inseguridad al proponer ideas nuevas, además de generar ambiente de inestabilidad y alta rotación de personas (Socconini, 2019). Se debe enfocar al personal en obra en sus labores que mejor desarrolla sin importar el nivel del mismo para que pueda aprovechar lo mismo, se sugieren hacer evaluaciones constantes e inclusive reasignar personal o intercambiarlo de puestos para que el personal se adapte mejor a labores a los que son más óptimos.
- **Energía:** En cuanto a energía se refiere a los fluidos que se transforman en trabajo, los mismos pueden ser electricidad, gases o combustibles. Son comunes esos desperdicios en fugas, malas instalaciones, iluminación inadecuada o uso de equipos no necesarios. (Socconini, 2019) Dentro del ramo de la construcción también se incluye a la prevención de estos desperdicios como elementos de calidad en el trabajo.
- **Contaminación:** En la actualidad hay mucho enfoque en las empresas sobre ser amigables con el ambiente. En cuanto a desperdicios por contaminación se hace referencia a la generación de residuos, además de emisiones contaminantes del aire y agua (Socconi, 2019). Para este tipo de emisiones es importante que los encargados de seguridad también supervisen la higiene del proyecto y controlen los residuos que el personal y los procesos generan, además de que en la planeación de los proyectos se debe contemplar no usar maquinaria que genere residuos peligrosos que dañen el aire.

Los 7 desperdicios se pueden encontrar en cualquier lugar o industria, la construcción no está exenta de ellos, por lo que saber detectarlos puede tener beneficios al prevenirlos. Así como Lean Manufacturing tiene como base la prevención de estos desperdicios, Lean Construction corre sobre la misma vertiente, entonces son elementos que unen intrínsecamente ambas filosofías y que básicamente no presenta cambios entre una y otra más allá de los desperdicios propios de los procesos constructivos que ya fueron explicados con anterioridad.

Work Breakdown Structure (WBS)

La Estructura de Desglose del Trabajo o WBS por las siglas en inglés de Work Breakdown Structure, es una descomposición jerárquica de todos los trabajos y alcances a realizar por cada miembro del proyecto, es una manera de describir y definir los procesos que se realizarán. Es necesaria la aprobación total de los resultados deseados y finales de los procesos a realizar para que el WBS pueda ser funcional, para este trabajo el proyecto debe estar totalmente definido, y se pueda desglosar de manera exitosa de acuerdo con Project Management Institute (2019).

Un proyecto está enfocado en crear un producto o servicio, lo que genera un gran grado de incertidumbre y riesgo. Una exitosa gestión de proyecto depende directamente de la planeación del mismo que es resultado de la coordinación de todos los trabajos

multidisciplinarios que el mismo lleva (Project Management Institute, 2019). La planeación empieza definiendo metas y objetivos del proyecto con suficiente detalle y especificando los entregables del proyecto de acuerdo al alcance de los involucrados, lo que implica definir a cada subcontratista las tareas que realizará.

El WBS es una herramienta práctica que ayuda a liberar incertidumbre a todos los miembros del proyecto. Desglosar un enorme reto en pequeños retos abona a estructurar el proceso final, en otras palabras estructurar un gran trabajo en paquetes de pequeños trabajos ayuda a un flujo más preciso. Un desglose en pequeños trabajos hace más fácil medir, gestionar y comunicar los objetivos de los mismos, en otras palabras resumir los diversos trabajos a realizar en el proyecto ayudará a que al realizar cada una el proyecto constructivo será exitoso (Project Management Institute, 2019).

El WBS juega un rol en varios aspectos de la planeación, gestión y control. Por otro lado, ayuda a definir y entender los alcances, tiempos y costos que juegan un rol en la exitosa planeación de proyecto. El desglose del WBS debe tener una secuencia lógica y jerárquica de los alcances y facilidades en todos los aspectos de la gestión de proyectos a través del ciclo del mismo, debe seguir una determinada cadena que respete los procesos constructivos (Project Management Institute, 2019).

Cualquier proyecto puede ser adaptable a una WBS, además de crucial para implementar disciplina en el mismo. Para implementar el WBS se debe tomar en cuenta que la misma debe ser iterativa y ágil para adaptarse a las necesidades del proyecto Just In Time (JIT) (Project Management Institute, 2019).

Para que una WBS pueda ser considerada que está siendo bien utilizada debe ser ayudar a hacer una representación visual de los alcances del proyecto. Se debe dejar claro a los involucrados los objetivos y entregables para que todo vaya sobre una misma línea. Una WBS es funcional, según el Project Management Institute (2019), cuando se ayuda a tener claras las responsabilidades y costos a todos los involucrados durante todos los procesos del proyecto. Esto es claro en un proceso de construcción cuando el cliente, supervisora y contratista general tienen claros los alcances de cada subcontratista y los costos de sus procesos.

Para que el WBS sea funcional, de acuerdo a Project Management Institute (2019), debe establecer un sistema de comunicación que ayude al entendimiento de los alcances de los demás integrantes del proyecto aparte de quien recibe la información. Una WBS aún más eficiente permite tener una buena comunicación con todos a través de indicadores de productividad. En el proyecto de construcción los indicadores deben estar ligados al avance del proyecto.

El WBS debe proveer idealmente a la gerencia del proyecto de indicadores con herramientas visuales que ayuden a adaptar la planeación y control del proyecto. En general, si la WBS deja claro los alcances, tiempos, presupuestos, riesgos y dar un seguimiento puntual del proyecto, la misma se considera totalmente funcional. Algo a tomar en cuenta para que la WBS sea exitosa es que ayude a cruzar y coordinar las tareas de los diversos involucrados en el proyecto, en el presente trabajo se pretende que el WBS ayude a coordinar a las diversas subcontratistas y trabajadores para que sepan cuándo deben realizar determinadas tareas para conseguir la finalización exitosa del proyecto, además de tener un control de las mismas (Project Management Institute, 2019).

El WBS ayuda a los líderes a balancear la necesidad de control dependiendo de la cantidad de detalle que se solicite en los entregables. El nivel de especificación que se da a la WBS puede ser funcional de acuerdo a la planeación y control tan detallada que se desee tener, lo que está relacionado con el nivel de calidad de las WBS (Project Management Institute, 2019). En el proyecto de construcción puede verse el nivel de detalle de las etapas del mismo de acuerdo a lo específico que sea el desglose de tareas dentro del WBS, por lo que aprovechar dicha herramienta para planear lo que se realizará puede ser de mucha utilidad, al mismo tiempo que se convierte en una herramienta de control, pero el grado de especificación que se solicita en el desglose de actividades debe ser estratégico porque si se tiene mucho detalle puede que queden actividades a medias ya que detalles mínimos pueden ser ignorados en el montón de información resultante o poca especificación puede no dar el detalle suficiente de los pasos a seguir para cumplir una gran tarea y perder el control de aquellas actividades que contribuyen a llegar al objetivo general a partir de esos objetivos particulares.

La correcta planeación de procesos se basa en una buena estructura jerárquica que también tenga claros los alcances de los involucrados en el proyecto, para esto se considera fundamental usar una WBS. La WBS entregada no asegura el eficiente control de proceso, sobre todo si se ve envuelta en pobres decisiones o que no se tengan bien conocidos los cambios de alcance (Project Management Institute, 2019). Es determinante el seguimiento a cambios de alcance de los involucrados en el proyecto constructivo para que las WBS sigan siendo una herramienta funcional.

Construir es un proceso productivo en sí mismo, o sea que es una serie encadenada de actividades que permiten obtener un resultado final, tener esas actividades organizadas y bien planeadas se considera muy relevante para tener éxito en los tiempos de entrega del mismo y evitar desperdicios, por ende el WBS es una herramienta adaptable y útil para los fines de la Industria de la Construcción.

Just In Time (JIT)

La metodología Just In Time (JIT) o Justo a Tiempo en español, es una filosofía de manufactura que ayuda a la eliminación de desperdicios. Se basa en que la compañía produzca exactamente lo que necesita y cuando lo necesita, es decir hacer solo lo que el cliente necesita basado sobre todo en lo que se ordena y no en pronósticos. Lo anterior ayuda a que las empresas gestionen de mejor forma sus recursos, además en la construcción debe ser sencillo de aplicar ya que no existen stocks y se almacena justo lo que se construirá en el momento (García, 2015).

Just In Time fue creada en 1950 por Taiichi Ohno aplicado a la manufactura de automóviles Toyota. La metodología fue pensada para eliminar elementos innecesarios de todas las áreas de la organización incluyendo recursos humanos, contabilidad y demás (García, 2015). La principal ventaja que tiene es la reducción de costos y permite conocer más de cerca las necesidades del cliente, que para el presente trabajo puede representar algún ajuste en el proyecto de acuerdo a las condiciones cambiantes del mismo.

El principal desperdicio que reduce este sistema es el de espacio, lo que reduce costos de almacenaje, pero también produce una reducción de actividades que no generan valor

directo. Algo complicado para aplicar esta metodología es la filosofía de cada lugar, pues en Japón hay mucha disciplina y en otros países como México puede ser más complicado por la poca disciplina laboral existente (García, 2015). La metodología de Just In Time busca el respeto y satisfacción de los empleados que la ejecutan, que es uno de los ejes primordiales del presente trabajo, además del bienestar y felicidad del líder de la metodología y quienes se ven inmiscuidas en las mismas.

JIT reduce el tamaño de manufactura a lo necesario, reduce el impacto por tiempos de entrega y ayuda al crecimiento de la calidad del producto. El impacto positivo que tiene JIT es crecer la eficiencia operacional, la satisfacción del cliente y da ganancias al generar una competitividad estratégica. El proceso de implementación es dependiente de la evolución de la cultura organizacional, la revisión de métodos de trabajo y de procesos administrativos. (García, 2015)

JIT está asociado directamente con el flujo de materiales y en cumplir con las expectativas del cliente en cuanto a calidad, la sensibilidad con el mismo, acorta los tiempos de entrega y baja los costos. La gestión de la cadena de suministro genera una integración entre clientes y proveedores para tener un inteligente flujo de material. El éxito en la implementación JIT depende de dos aspectos que son la coordinación de los tiempos de producción con los tiempos de entrega de los proveedores y el compromiso con los altos niveles de servicio relacionado a la calidad del producto, lo anterior implica una excelente relación con los proveedores, en la construcción puede ser más complejo porque hay suministros que suceden una sola vez, los cuales se deben tener muy presente y para los suministros constantes es importante generar una relación fuerte y comprometida con los proveedores. (García, 2015)

La gestión de la cadena de suministros por medio de Just In Time incluye a obreros, suministros, transportes, almacenes, vendedores y proveedores poniéndolos como un flujo único y dinámico. Los resultados de implementar JIT son reducir costos, mayor relación con innovaciones tecnológicas, crece la rentabilidad y aumenta la productividad respecto a la competencia. La gestión de la cadena de suministros afronta algunos obstáculos como cambios en la demanda, una mayor coordinación con proveedores y no tener la tecnología adecuada. La construcción sin duda afronta los mismos problemas, sólo que el cambio de demanda es complicado debido a que los planes o proyectos de construcción no son sencillos de cambiar en cuanto a diseños y alcances (García, 2015).

Si se piensa en herramientas que apoyan a la filosofía Lean son aquellas que apoyan a eliminar procesos que no añaden valor a los productos y de esa forma buscar añadir valor eliminando aquello que no es necesario. Leyendo lo anteriormente planteado se puede entender de mejor forma porqué Just In Time es muy afín a las metodologías Lean, además que es una metodología que ha ido mejorando mucho con el paso del tiempo por la globalización existente y creciente en la actualidad. La metodología Lean tiene como base tres pilares (García, 2015):

- Eliminar todo tipo de desperdicios, misma situación en la que se basa Just In Time que lo hace una herramienta esencial para Lean Manufacturing.
- Respeto por el trabajador.
- La mejora constante de la productividad y la calidad del producto que se entrega al consumidor.

Just In Time ayuda a reducir costos, mejorar procesos y eliminar desperdicios para incrementar la satisfacción y mantener el margen de ganancia. Esto ya puede inclusive considerarse necesario para poder competir con la múltiple competencia global y ayuda a encontrar la forma de agilizar las cadenas de suministro. Para determinar si un sistema Just In Time está bien implementado debe cumplir las siguientes características y basado en ellas concluir según García (2015):

- 1) Reduce notoriamente los desperdicios.
- 2) Reduce el inventario y espacios de almacenaje.
- 3) Crea sistemas de producción más robustos.
- 4) Ayuda a tener métodos más ágiles de entrega de producto.
- 5) Mejora la distribución para crecer la flexibilidad.

Para aplicar Just In Time en la construcción se necesitan coordinar una serie de técnicas y herramientas cuya aplicación y beneficios serán palpables basados en características de correcta aplicación en la industria como son:

- Reducción en el costo del producto final.
- Reducción de materiales no ocupados en obra.
- Reducción de tiempos de entrega de áreas.
- Crecimiento en la calidad de áreas.
- Reducción en la fuerza de trabajo, especialmente en aquellos que tiene que ver en el almacenaje.
- Mayor claridad en comunicación de objetivos del material, entendimiento de dónde y cuándo se ocupará.

Todos los beneficios que brinda una filosofía como Just In Time en cualquier industria también puede ser adaptable a la Industria de la Construcción debido a que apoya a reducir los desperdicios que esta industria puede tener y trayendo beneficios por eso mismo. En la construcción difícilmente hay almacenes fuera del área a desarrollar, por lo que se suelen resguardar los materiales en áreas poco óptimas para ese fin y reducir almacenajes erradica riesgos inherentes a no almacenar de manera adecuada.

Material Requirement Plan (MRP)

El Material Requirement Plan (MRP) que en español se conoce como Plan de Necesidades de Materiales es un método clásico para gestión de stocks y almacenaje tomando en cuenta unidades de tiempo, calculado por cada artículo en particular de acuerdo a sus propios comportamientos históricos en procesos de suministros anteriores, tomando en cuenta que la demanda de cada artículo tiene un comportamiento independiente a los demás y actuará de una determinada forma a lo largo del tiempo. Los primeros indicios del MRP se dieron en 1954 cuando Andrew Vaszonyi detectó el problema y presentó un enfoque basado en álgebra matricial. A finales de los años 60 Joseph Orlicky de IBM popularizó el procedimiento en el libro "Material Requirements Planning" (Pascual, 1989)

El MRP no es recomendable en artículos cuya demanda es a partir de un determinado pedido del cliente, cuando la demanda es totalmente independiente o actúa de manera homogénea a lo largo del tiempo. Con lo anterior se puede inferir que no es funcional en

lotes o al retirar del almacén todos los artículos fabricados en el lote, ni tampoco en artículos cuya demanda es discreta y por saltos.

Para que un MRP sea útil de deben cumplir dos condiciones según Pascual (1989):

- 1) La demanda de los artículos no es independiente.
- 2) Las necesidades de cada artículo y el momento en que deben ser satisfechas se puede calcular basado en datos sencillos: las demandas independientes y la estructura del producto que está definido por los tiempos de elaboración y almacenaje de los mismos.

El MRP consiste en el cálculo de las necesidades netas de los artículos (productos terminados, subconjuntos, componentes y materia prima), toma en cuenta el tiempo de fabricación de cada producto o compra del mismo, lo que ayuda a calcular el tiempo de las necesidades, y también se basa en el tiempo de almacenaje. Por tanto, la lógica del MRP es sencilla, pues se trata de qué se debe almacenar o fabricar, en qué cantidad y en qué momento para cumplir con los compromisos adquiridos, en la construcción puede enfocarse más en el proceso de pedido de materiales o equipos necesarios y determinantes para la funcionalidad del proyecto. (Pascual, 1989)

Una parte muy importante para el MRP es la gestión de stocks o inventarios basada en el sistema de punto de reorden el cual prevé dos tipos de demanda:

- 1) Demanda homogénea en el tiempo: Tiene un nivel constante al que lo pueden alterar oscilaciones de carácter aleatorio.
- 2) Demanda sin inconvenientes: Sigue la tradicional curva de “dientes de sierra”.

Un concepto importante y determinante para el MRP es el plan maestro de producción, ya que el mismo indica cantidades de producto necesario en los determinados intervalos de tiempo. Pueden existir restricciones de acuerdo a la capacidad de las instalaciones, la maquinaria que compone el sistema productivo y otras limitaciones que pueden inmiscuirse en productos de procedencia exterior a la empresa por causa de los proveedores. El plan maestro funcional indica las entradas y salidas acuerdo a una línea de tiempo. Para el presente trabajo el plan maestro de la producción no es más que el plan de construcción por área de acuerdo al desglose de actividades presentado (Pascual, 1989).

El concepto de control del MRP viene brindado por el listado de materiales, que traduce las necesidades de productos terminados en las necesidades de productos intermedios y materiales para poder realizar la estructura del producto en general o a lo que se denomina como explosión de insumos o descomposición de los mismos. El listado de materiales describe a todos los artículos existentes en todas las fases del proceso productivo, así como sus relaciones en medida que unos artículos se transforman en otros o varios se montan de un lugar a otro. El listado de materiales determina para cada artículo cuando entran en la fabricación y las cantidades de los mismos. Lo anterior tendría que ser sencillo en construcción porque bastaría ver los planos de cada disciplina constructiva para determinar dónde, observar el plan de obra para determinar cuándo y la cuantificación de materiales para determinar cuánto (Pascual, 1989).

Algo determinante en el MRP es tomar en cuenta los productos que provienen del exterior de la organización, sobre todo aquellos que son de entrada. Igual algo determinante es entender qué artículos ayudan a la realización de otros artículos que se complementan la

manufactura principal (Pascual, 1989). Además, es relevante comprender qué artículos contribuyen en varias etapas del proceso, algo funcional es determinar qué materiales se repiten en las diversas áreas del proyecto constructivo para generar una sociedad con los distribuidores y entiendan cuándo entran en el proceso y su relevancia.

Pueden existir varios tipos de descomposición del producto de acuerdo al tipo de proyecto o producto elaborado (Pascual, 1989). Se debe cuidar no ser tan específico en el desglose debido a que se puede desperdiciar tiempo en etapas de requerimiento de materiales que ya han sido desglosados anteriormente. Esto se puede observar cuando se tienen áreas parecidas en el proyecto de construcción y se conoce el desglose de las mismas, sólo se mueve la temporalidad de las mismas.

Para que el MRP sea funcional se debe ligar al proceso de control de producción, es importante adaptarse a las desviaciones existentes, además que las mismas deben de estar relacionadas con la descomposición de actividades. Estar pendientes del comportamiento del sistema productivo es sencillo cuando hay un flujo de comunicación constante y preciso. El seguimiento de las acciones programadas y saber cuánto material está almacenado determina el control necesario para el cumplimiento del MRP, también es necesario conocer el estatus de la maquinaria con la que se tratará el material a manufacturar pues los mismos pueden determinar si el material puede o no acumularse y dicho estatus debe ser comunicado a los proveedores para que estén pendientes y regulen sus propios procesos (Pascual, 1989)

Recordemos que la construcción es un proceso productivo, al mismo tiempo es una industria que manufactura y tiene un tren de ensamble (aunque no sea el típico en línea o por células), como tal se debe cuidar el flujo de materiales para asegurar que se cumplirá con el avance manufacturero del proyecto, entonces el MRP al ser una herramienta que ayuda a asegurar un correcto flujo de materiales se convierte en una herramienta ideal para apoyar el flujo productivo del proyecto.

Muestreo Por Tabla Militar Estándar

Para entender lo que es una muestra se debe entender primero lo que es una población, lo cual es una colección finita o infinita de elementos. Las características poblacionales que se desean estudiar se les denominan como parámetro. “La muestra está formada por un subconjunto de operaciones de la población que se va a analizar; con la información muestral es posible obtener valores próximos al valor del parámetro mediante los estimadores, o clasificar a las unidades muestrales a partir de atributos”. (Chirino, 2021)

La Tabla Militar Estándar fue desarrollada en la Segunda Guerra Mundial, es el sistema de muestreo de aceptación para atributos que más se ocupa en la industria. Existen tres tipos de muestreo que son: el simple, doble y múltiple, la exigencia deseada para el plan se escoge de acuerdo al tipo de inspección si se desea que sea normal, rigurosa o reducida. (Escalante, 2006)

El muestreo es un sistema de control de calidad que viene con una tabla y un sistema de muestreo junto con distintas rigurosidades del mismo. Está pensado para aplicarse a una serie de lotes con las mismas características, aunque pueden ser variables en su población

general. Los lotes deben ser fabricados de forma continua, es decir deben pertenecer a un mismo sistema productivo. (Griful, 2010)

Algo importante para que este muestreo sea funcional es el tipo de inspección y tamaño del lote, aunado a que se debe seleccionar correctamente el nivel de rigurosidad que se considere óptimo, existiendo niveles altos y bajos del mismo. Además, se tienen tres niveles generales de inspección que varían de acuerdo al tamaño de la población son: el nivel I moderado (del 98.5% al 99% de confianza en sus niveles más riguroso), nivel II normal (99% de confianza en sus niveles más rigurosos) y nivel III estricto (99.9% de confianza en sus niveles más rigurosos). Para muestras pequeñas existen niveles de inspección especiales que varían su nivel de confianza según el tamaño de la población como S-1 (de 35% al 99% de confianza en sus niveles más rigurosos), S-2 (de 60% al 99% de confianza en sus niveles más rigurosos), S-3 (de 75% al 99% de confianza) y S-4 (de 93.5% a 99% de confianza en sus niveles más rigurosos) (Escalante, 2006).

Los pasos a seguir para este tipo de muestra es elegir el nivel de inspección, se toma en cuenta el tamaño del lote, se encuentra la letra del código apropiada para el tamaño de muestra y se determina el tipo apropiado de plan de muestreo (Escalante, 2006).

Al ser un método sencillo de muestreo, fácil de entender y práctico de aplicar se presta a que cualquier profesional lo pueda aplicar, sobre todo tomando en cuenta que en la Industria de la Construcción no se encuentra personal muy especializado en los muestreos. Además, es un tipo de industria que se presta al muestreo debido a que se realizan trabajos iguales tanto en materiales como en manufactura, sólo que cambian en su ubicación. Cumple con las características que requiere esta metodología para poder ser aplicada tanto en población como la rigurosidad de muestreo.

Es muy complicado que una persona esté pendiente de la calidad de todos los trabajos que se realizan en los proyectos constructivos por el tamaño de los mismos y porque las pruebas de calidad pueden implicar detener trabajos y no se puede estar deteniendo trabajos constantemente. Lo anteriormente mencionado hace necesario generar una metodología que haga más sencillo el realizar pruebas de calidad y que no conlleve tanto tiempo a quien las realiza, ya sea alguien dentro de las organizaciones que están en contacto directo con el desarrollo del proyecto o una empresa que supervise la calidad de manera externa. Se opta por realizar un muestreo de los trabajos realizados con un método no muy complicado de entender y que brinda un nivel de confianza suficiente que satisfaga a los clientes o usuarios finales según lo consideren.

Cabe destacar que el nivel de confianza puede variar de acuerdo a la relevancia del trabajo, del tiempo que tenga la persona que lo realiza y del costo de la prueba, ya que si una prueba es muy cara y la misma varía mucho entre el número de muestras de acuerdo a la confianza buscada, puede ser no factible económicamente. Dentro de las diversas formas de muestreo existentes se opta por realizar el método de muestreo por Tabla Militar Estándar debido a que no se considera complicado de entender y es claro en lo que brinda como resultado. El método se va a respetar en su totalidad, pero se van a marcar ciertas pautas de acuerdo a los fines del presente trabajo. La metodología para el muestro propuesto funcionará de la siguiente manera:

Primero, se comparte a continuación la tabla de muestreo Militar Estándar que se sigue en la presente metodología.

Tabla de letras de código para el tamaño de la muestra (MIL, STD 105E)

Tamaño del lote o carga	Niveles de Inspección especiales				Niveles de Inspección		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 a 8	A	A	A	A	A	A	B
9 a 15	A	A	A	A	A	B	C
16 a 25	A	A	B	B	B	C	D
26 a 50	A	B	B	C	C	D	E
51 a 90	B	B	C	C	C	E	F
91 a 150	B	B	C	D	D	F	O
151 a 280	B	C	D	E	E	G	H
281 a 500	B	C	D	E	F	H	J
501 a 1 200	C	C	E	F	G	J	K
1 201 a 3 200	C	D	B	G	H	K	L
3201 a 10000	C	D	F	G	J	L	M
10001 a 35000	C	D	F	H	K	M	N
35001 a 150 000	D	E	G	J	L	N	P
150 001 a 500 000	D	E	G	J	M	P	Q
500 001 en adelante	D	E	H	K	N	Q	R

Figura 1. Niveles de muestreo de acuerdo a tamaño de lote para Tabla Militar Estándar. Crédito a Universidad Carlos III Madrid (2020)

Lo que se debe realizar primero es detectar el tamaño de lote correspondiente a las actividades realizadas al momento del muestreo, no del total general si no se han terminado todas las actividades planeadas de ese tipo. Por ejemplo, si de momento se han instalado 110 ventanas, el tamaño de lote será en ese momento el ubicado entre los 91 y 150, sin importar el total de ventanas a instalar en todo el proyecto.

Posterior a ello se pasa a la siguiente tabla (de la cual se anexa solo un fragmento) y se detecta el nivel de confianza con el que se desea trabajar en el muestreo a realizar. Repasaremos el uso de estas tablas, en la parte superior de la tabla se encuentra el NCA (Nivel de Confianza Aceptable) el cual se representa con un número del 0 al 10, dicho número significa el porcentaje de error aceptable de materiales que no cumplen con el criterio de calidad establecido.

Después de que se tiene calculado el NCA se anotan todas las letras de cantidad a muestrear (c) que abarca el NCA calculado, por ejemplo el NCA 0.1 abarca las letras de la A a la J.

Posteriormente se regresa a la tabla de niveles de muestreo (Figura 1) con el rango de letras seleccionado y se observa cuál de ellas es la que entra en el tamaño de lote correspondiente que se seleccionó en la tabla de niveles de muestreo (Figura 1). Por ejemplo, siguiendo el ejemplo del párrafo anterior, con un NCA de 0.1 (letras de la A a la J) y una población de 912 se pueden elegir entre las letras entre la C, E, F, G y J, pero se toma la de mayor rigurosidad (la más lejana en orden alfabético a A) que en este caso es J con una cantidad de 80 piezas a muestrear, donde basta que una no cumpla con los requerimientos para rechazar todo el lote completo y elegir una acción que permita dar confianza en el lote.

Tomando en cuenta que es un método sencillo de aplicar, sin mucha preparación previa en estadística se convierte en un método ideal para aplicar en la Industria de la Construcción porque existen profesionales con no mucha experiencia en estadística y hasta podría ser aplicado por gente sin estudios de licenciatura por su método más algorítmico que analítico. Al mismo tiempo, es un método que permite ajustarse a números tanto grandes como pequeños de población que es algo que puede darse en la construcción, pues pueden tenerse trabajos que se realicen muchas ocasiones en un mismo proyecto (pintar, levantar muros, colocar ventanas, etc.) y otros con poca frecuencia (colocar puertas de elevador, colocar determinados tipos de piso, etc.). Por último, permite ajustar el nivel de confianza, lo que mueve la cantidad de elementos a muestrear y ajustarse a los costos previstos para hacer pruebas de calidad, ya que en la construcción las pruebas de calidad pueden ser muy caras dependiendo el elemento a muestrear.

Gestión de la Calidad

“La calidad puede definirse como el conjunto de características que posee un producto o servicio obtenidos en un sistema productivo, así como la capacidad de satisfacción de los requerimientos del usuario” (Cuatrecasas, 2012). En otras palabras, la calidad es que el producto cumpla con las especificaciones para las que fue diseñado y dé satisfacción al cliente o usuario.

El control de calidad implica recorrer la línea de producción para verificar, medir y revisar el nivel de calidad de lo realizado para que cumpla con sus características como dimensiones, color y otras medibles u observables, ya sea en el medio de la realización del producto o al final de la misma. Al realizar las inspecciones de calidad se debe comprobar de manera objetiva que el producto cumpla con lo que promete para satisfacción de la misma organización o del cliente para que, de no ser así, modificarlo o retirarlo de la cadena de producción. Identificar los productos no conformes no implica necesariamente identificar el origen de las no conformidades de los mismos, eso conlleva otro proceso, así como el qué se hará con los mismos.

El control de la calidad implica un coste, no solo por los gastos de la inspección sino por los fallos encontrados en el producto, con lo que se generan desperdicios de materias primas y de otros recursos inherentes a la producción. El control de calidad también implica, según

López (2016), gestión, mejora y aseguramiento de la calidad que permite importantes mejoras en eficiencia, productividad y rendimiento en las áreas de producción permitiendo identificar fallos de origen de una forma más proactiva que reactiva, evitando desperdicios en recursos. El concepto de control de la calidad no es solamente que el producto final cumpla con las especificaciones sino cuidar la generación de desechos durante la producción.

La calidad implica poner en marcha una serie de procedimientos de inspección y control con el objetivo de comprobar y verificar que los productos cumplan sus especificaciones previamente establecidas, además de separar del resultado final de la producción con los elementos terminados que están no conformes tras la inspección. El control de la calidad, sugiere López (2016), debe estar totalmente diferenciado de la producción, comúnmente en un departamento de calidad en los que preferentemente no participen los trabajadores de la producción. La calidad debe tomar en cuenta la seguridad y salud laboral de los involucrados en la producción.

Las nuevas metodologías de calidad buscan involucrar tanto a trabajadores, directivos y fomentando el trabajo en equipo. Es muy importante en los procesos de calidad dedicar tiempo a la identificación y resolución de problemas. También se debe tener enterado a todo el personal sobre los requerimientos mínimos de calidad.

Se debe tener a todo el personal enterado acerca del estatus de la calidad producida continuamente. La calidad necesita de líderes que se encarguen de coordinar y capacitar que todos participen activamente en la calidad brindada. En la actualidad existen varias herramientas que pueden utilizarse para identificar problemas, análisis de causas y puesta en marcha de soluciones.

Existen herramientas de control de la calidad y otras para la mejora de la misma. Muchas herramientas de calidad tienen un origen estadístico, mismas herramientas que generalmente son muy visuales y deben ser aplicadas en todas las áreas de la empresa, no sólo en la producción. Las herramientas de control de calidad deben ser sencillas, totalmente aplicables y útiles.

Las herramientas de calidad deben ser sencillas, es decir que cualquier persona pueda manejarlas y entenderlas sin tener grandes conocimientos estadísticos. Deben poder aplicarse en cualquier área de la empresa. Por otro lado, deben de ser útiles en la recopilación y organización de datos, identificación de causas de problemas y análisis de posibles soluciones.

Por calidad en la construcción se entiende como asegurar que se está entregando un producto que es seguro para quien lo habita, que cumplirá con la funcionalidad requerida y que va a satisfacer los estándares visuales esperados, cuidando siempre al personal que se ve involucrado en su manufactura. Gestionar la calidad dentro de la construcción requiere que se esté en constante observación de las diversas actividades que se están realizando mientras se elaboran y cuando las mismas se terminan, además una revisión detallada al final de cada área. Desarrollar herramientas que mantengan a todos los involucrados en el proyecto del control de la calidad en obra y la mejora de la misma es determinante para conseguir la satisfacción del cliente y asegurar que todos los elementos del proyecto constructivo funcionan correctamente.

De los principales materiales y herramientas utilizados para la calidad dentro de los proyectos constructivos son los manuales donde se indique el cómo se debe proceder tanto para elaborar trabajos como para revisar los mismos, además de tener históricos de la calidad, dentro de las herramientas utilizadas se encuentra el manual de calidad, el manual de procedimientos, el manual de trabajo y registro de calidad, para esto también es necesario contar con los líderes y equipos de personas con la capacidad de impulsar los objetivos de calidad. Dichas personas pueden ser, dependiendo del tamaño del proyecto, un solo líder o supervisor de calidad o puede ser todo un equipo de auditores de calidad que supervisarán que lo estipulado en los manuales se cumpla, además, cada subcontratista debe tener una persona encargada de que su organización cumpla con dichos criterios, la persona puede estar enfocada exclusivamente a la calidad de los trabajos que realiza o que tenga otras labores, pero que también vea por la calidad, según se considere por el tamaño del proyecto, experiencia de la persona y los criterios requeridos en el proyecto.

Otros Conceptos Importantes

Productividad

Es el concepto de medir la actividad respecto a los bienes y servicios producidos de acuerdo a los recursos utilizados sin importar si estos son tangibles o intangibles. Es muy común que la productividad se mida respecto a periodos de tiempo. La productividad puede ser interpretada como medir la eficiencia de usar los recursos (Juez, 2020).

Lo ideal es invertir menos recursos para producir la misma o mayor cantidad de ganancias, lo que se interpreta como una mayor productividad. Medir la productividad por periodos de tiempo puede servir para conocer el desempeño del personal (Juez, 2020).

La productividad tiene una fórmula matemática que ayuda a hacerla medible:

$$Productividad = \frac{Producción\ Obtenida}{Cantidad\ de\ Factor\ Utilizado}$$

En cualquier industria es muy relevante conocer los resultados de la producción y qué tan aprovechados son los recursos brindados, entonces usar el concepto de productividad es adaptable a la Industria de la Construcción como un indicador de capacidad, además de poder ser muy adaptable ya que existen una gran variedad de recursos con los que se puede realizar la medición. Eligiendo de manera correcta el recurso a medir y el resultado esperado a obtener se pueden obtener conclusiones que pueden apoyar a reencaminar o mantener un proceso.

Principio de Pareto

La ley de Pareto que también es conocida como la regla 80/20, pues establece que el 80% de los objetivos son realizados por el 20% de los medios. El 20% de objetivos restantes se realiza con el 80% de los medios restantes. Otra manera de ver lo anterior es que costará cuatro veces más moverse del 80% al 100% de lo que costaría moverse del 0% al 80% (Nemur, 2016)

La ley puede sonar muy simple, pero es una herramienta de gestión muy poderosa. Apoya mucho a personal que encabeza proyectos o empresas a comprender, evaluar y optimizar todas las situaciones referidas o relacionadas con la distribución de tareas. Es un principio que puede ocuparse tanto en negocios como en la vida personal. (Nemur, 2016)

Enfocar a la organización en lo que importa es algo relevante, es decir enfocarse en ese 20%. Se debe asegurar la realización de ese 20% para tener éxito. No siempre este principio es lineal o funcional, pero se deben identificar esas situaciones para no ponerlo en práctica y generar el efecto contrario. (Nemur, 2016)

Por ser un principio sencillo en su entendimiento y práctico en su aplicación se considera óptimo para utilizarse en la Industria de la Construcción. Permite fraccionar de manera más sencilla totales, además que ayuda a dar más importancia a determinados elementos que pertenezcan al 20% estudiado.

Planeaciones Push & Pull

Para estrategias de producción existen un par de técnicas que pueden aplicar dependiendo del área y sector, las mismas se denominan Push y Pull. Para poderse decantar por cuál técnica ocupar, mismas que serán descritas más adelante, se requiere cuestionarse si es necesario que el producto esté fabricado con antelación o al momento de la compra. Elegir correctamente la estrategia a seguir tiene importantes repercusiones no solo en la manera de producir sino en cómo se organizará la logística y el almacén, además de los costos que se asumirán.

- Push (Empujar): Implica producir, almacenar y vender en ese orden. Se basa en la demanda por pedidos, mercados o pronósticos. Es el método usado por empresas tradicionales con montajes de planta departamental o centros de trabajo, el sistema de producción debe ser continuo por producto. Es recomendable para mercado de poca competencia. (Monsalve, 2018) Este sistema implica que el flujo de mercancías se da impulsado por los inventarios y no por la demanda, la venta estará determinada por la función comercial. El mercado reacciona a determinadas cantidades ya producidas, basadas en métodos de pronósticos de demanda, pueden o no ser vendidas en su totalidad teniendo por riesgo sobrantes, sobrestock y faltantes.
- Pull (Jalar): Empresas con plantas pequeñas o medianas plantas con sistema de producción celular o fija. En este caso el esfuerzo viene determinado de demandas ya conocidas, de esta forma la parte comercial concreta las ventas antes de la producción y basándose en esas ventas se ejecutan operaciones o modificaciones de planes. Es el método que mejor se ajusta a la metodología Just In Time. (Monsalve, 2018)

En tiempo reciente la industria apunta al sistema Pull en lugar del sistema Push, lo cual es natural dado que las empresas buscan ganar dinero por medio de ventas más rápido. Operar bajo el sistema Pull tiene grandes ventajas para cualquier industria, pero el sistema se ajusta de mejor a organizaciones con sistema de producción, planificación y control se basa por pedidos, dado que los productos o proyectos elaborados son únicos o a la medida del cliente, eso lo hace más difícil de dejar en inventario y venta posterior, así mismo se sugiere un adelanto económico del cliente para asegurar la ejecución del proyecto seguro para ambas partes (Monsalve, 2018).

La Industria de la Construcción puede presentar cualquiera de las dos planeaciones dependiendo la etapa en la que se encuentre, pues al momento de diseñar el proyecto puede ser conveniente utilizar una planeación push ya que se conoce el estado del lugar donde se desea realizar un proceso constructivo y sobre las características del mismo realizar planes para modificarlo de acuerdo a las características visuales y de funcionalidad que se desea que tenga pero cuidando que lo que se plantea hacer sea realizable de acuerdo a lo que se tiene en ese momento dentro del área a desarrollar. Lo más conveniente una vez que se tiene cerrado todo lo proyectado e inclusive se tienen tanto planos como renders finales es que con base a estos últimos se haga una planeación pull deconstruyendo a partir del resultado final y llegando hasta el estatus actual del área a desarrollar, esto permite ajustar fechas para que se cumpla con lo planeado partiendo de la fecha final proyectada y cuidando que llegue a la fecha de inicio de proyecto con lapsos alcanzables, realistas y más ajustados.

Los 5 Por Qué

Es una metodología sencilla, pero muy efectiva, la cual es usada para explorar y resolver problemas identificando la causa raíz. Consiste simplemente en preguntar reiteradamente ¿por qué?, al menos 5 veces, para profundizar en las razones subyacentes de un problema hasta llegar al origen. El objetivo de identificar la causa raíz es tomar acciones efectivas para eliminar el problema de origen (Hernández, 2024).

Es importante para la metodología mantener el enfoque, esto se logra haciendo que cada por qué esté relacionado intrínsecamente a la respuesta anterior. No es una herramienta que busque culpar personas, se enfoca en los procesos. Se sugiere que se pregunte al menos 5 veces por qué, pero se puede aplicar más veces la misma pregunta (Hernández, 2024).

Se debe fomentar la participación asegurando que todos los miembros contribuyan con ideas y perspectivas. Para aplicar exitosamente la metodología se sugiere documentarse con los datos más relevantes del problema que estén disponibles. Se debe definir con claridad el problema que se busca resolver (Hernández, 2024).

Todos aquellos involucrados en la aplicación de la metodología deben entender el problema de la misma manera. El problema debe definirse de una manera concreta. Se debe identificar con claridad la causa raíz al preguntar el último “¿por qué?”, de lo contrario se debe seguir preguntando (Hernández, 2024).

Metodología

El autor del presente trabajo tuvo una experiencia laboral dentro de la construcción donde observó que es una industria con muchas áreas de oportunidad debido a que detectó en forma general distintas maneras los siete desperdicios conocidos dentro de las industrias como defectos por trabajos mal hechos, esperas dado a que no se tiene un flujo de información ideal, sobre inventarios al pedir más materiales de los necesarios, movimientos al realizar traslados de materiales y equipos que no serán ocupados en ese momento. Se optó por desarrollar una metodología que ayude a tener una producción que genere menos desperdicios dentro de esta industria tan grande, ya que se investigó que tan sólo en México genera cerca del 7% del PIB nacional y es la sexta industria más grande del país; sabiendo lo anterior, dicha metodología debe ser realmente más una filosofía de trabajo por lo que se eligió que fuera una metodología de producción ajustada tipo Lean Manufacturing. Dicha filosofía tiene su propia ramificación dentro de la construcción llamada “Lean Construction” que tiene como base la planeación y Control de la Producción, por lo que la metodología aquí planteada gira entorno a dichos pilares para la reducción de desperdicios.

La presente metodología se divide en dos partes que son la Planeación de la Producción para posteriormente pasar al control de la misma, ya que son los pilares de Lean Construction. En la primera etapa se procederá a definir el tren de producción buscando que se tenga la información suficiente para tener los recursos necesarios para producir el producto final junto con los tiempos en que serán requeridos y las actividades desarrolladas. La segunda etapa busca controlar que aquello que se planeó se cumpla y no presente desviaciones, buscando resolver estas mismas si se presentan para tener como resultado una producción ajustada.

Planeación de la Producción

Para que un sistema de planeación pueda ser exitoso debe existir un documento o elemento que permita desglosar aquello que se plantea a planear y controlar, para ese objetivo y basado en la experiencia laboral del autor con este tipo de formatos se seleccionó trabajar con el Work Breakdown Structure (WBS), mismo que es funcional para el objetivo debido a que es un formato ágil y que permite hacer muy preciso cada elemento desglosado. El WBS se planteó para poder desmenuzar el proceso a seguir para conseguir un objetivo general, por lo que permite tener un mayor panorama de los elementos a controlar y cuándo se deben cumplir por la capacidad de poder observarlos por separado. La herramienta de WBS se seleccionó porque ayuda a cumplir el primer objetivo planteado en el presente trabajo que es el de planear y controlar lo que se producirá en un proyecto constructivo, en la descripción de cada elemento desglosado en la herramienta se debe estipular un lapso de realización de los mismos para tener un panorama de cuándo se realizará y poder determinar si se está cumpliendo o no lo planeado como se pretende en lo planteado en el presente trabajo.

De los principales recursos que tiene cualquier proyecto, especialmente los constructivos, es el recurso financiero como lo estipuló en el Censo Económico 2019, el cual debe ser planeado para cuando se ocupará y controlado para que no se use de manera desmedida, por lo anteriormente descrito se estipuló agregar el costo de cada elemento a realizar dentro

de su descripción planteada en el WBS y así tener esa parte de planeación y control económica.

Dentro de los pilares que se conocieron cuando se investigó sobre Lean Manufacturing se encontró la gestión de la calidad, por lo que se decidió tomar dicho pilar para que tenga su propio desarrollo y sea un tema particular a desarrollar en la presente metodología. De acuerdo a lo que se investigó sobre gestión de la calidad, uno de los elementos que ayudan a estandarizar la calidad en los procesos productivos es contar con un manual de calidad en el cual se especifiquen los distintos trabajos que se realizarán y lo que se espera de ellos cuando sean terminados junto con cómo se medirá ese resultado esperado, ya sea por medio de una medición cualitativa o cuantitativa además de las tolerancias que se tendrán con dichos trabajos (en caso de existir) para que los mismos sean aceptados por lo anterior se decidió desarrollar un método para realizar un manual de calidad que se adapte a las particularidades de la Industria de la Construcción.

Cuando se leyó sobre gestión de la calidad se detectó que desarrollar herramientas que involucren a todo el personal que se ve inmiscuido en el proceso productivo es importante, además se mezcló ese concepto con otro de Lean Manufacturing que propone tener herramientas visuales a la mano, dichas herramientas son las que se denominaron plantillas de calidad donde vendrá el proceso constructivo esperado y los resultados deseados del mismo; en las plantillas se observó la oportunidad de incluir la seguridad que debe tener el personal al realizar la actividad como las condiciones ideales del espacio, herramientas y de los materiales a utilizar antes, durante y después de que se realice el trabajo para que se asegure un mayor nivel de calidad en lo que realiza y que los mismos no representen un riesgo a la integridad de quien realiza el trabajo o para el entorno donde se desarrolla o a los trabajos ya realizados.

Para ello se investigó en los textos de González (2005) sobre Planeación y Control de la Producción se determinó que la gestión de materiales es un pilar importante para asegurar el éxito de un sistema productivo, dentro de las herramientas que se investigaron para asegurar un correcto flujo de materiales se encontró al Material Requirement Plan (MRP) como una de las más eficientes debido a que no requiere mucha información para ser funcional, por lo que se procedió a adaptar dicha herramienta a las particularidades de la Industria de la Construcción; además, se aprovechó el MRP para que arroje alertas que indiquen el momento ideal para solicitar el producto y que llegue justo en el momento que será utilizado, asegurando de esa manera un sistema Just In Time

En las investigaciones que se realizaron de Lean Manufacturing, particularmente en el texto de Carreras (2021), se leyó sobre la gran importancia de tener elementos visuales en metodologías de ese tipo, por lo que se procedió a investigar herramientas que ayudaran a ese objetivo y se seleccionó la herramienta Kanban por cómo permite ver claramente el estatus del tren de producción en determinados lapsos donde es observable lo que ya se realizó, lo que se está realizando y lo que se realizará junto con las condiciones más importantes o restricciones de la misma, por lo que se buscó una herramienta igual a Kanban, pero que sea aplicada en la construcción y se decantó por usar la llamada Last Planner.

Se propuso que el Last Planner se encuentre en un solo lugar dentro del proyecto, por lo que se detectó que los apoyos visuales que se propusieron anteriormente no cubrían toda

el área de trabajo, entonces se procedió a desarrollar una propuesta de apoyo visual que se encuentre en cada nivel o sector a construir que contenga inicialmente la información del área para que quien lo lea sepa dónde está, lo que se está realizando y lo que se va a realizar finalmente para disminuir los desperdicios por espera de información que se investigaron durante el desarrollo del presente trabajo. Se tomó como base la importancia de la planeación planteada anteriormente y se observó la oportunidad de aprovechar la herramienta visual por área para colocar la planeación, el estatus de lo planeado y los involucrados en la misma.

Siguiendo el principio de colocar apoyos visuales y evitando tanto sesgos personales como ahorrar los tiempos de espera para obtención de información, se optó por desarrollar otra pizarra, pero ahora que contenga la información general del proyecto y que fuera lo primero que vea cualquier persona al ingresar al proyecto; dicho tablero debe contener los indicadores que se desarrollaron en el presente proyecto. Con los objetivos planteados en el punto anterior como base se decidió agregar la actualización porcentual del avance por disciplinas en general del proyecto para que el personal estuviera consciente de su participación en el mismo y evitar que busquen quedarse más tiempo como luego pasa en los proyectos de construcción y así evitando el desperdicio por sobre proceso.

Control de la Producción

Con la experiencia laboral del autor del presente escrito se observó que se suele cometer el error en los proyectos de construcción de considerar que todas las actividades tienen la misma influencia en el avance productivo del proyecto, mismo error que se ve agravado cuando se considera que cada actividad con determinadas características tiene el mismo valor que otras con características muy diferentes o viceversa. Partiendo de lo anterior y sacando mayor provecho a la herramienta WBS mencionada en la Planeación de la Producción, la misma se usó para especificar las características de cada elemento, a la vez que se diferenciaron las actividades y se les dio una importancia determinada a cada una de ellas y así se pudo determinar la influencia que tiene o no su realización partiendo de las características específicas de la misma.

Según una de las problemáticas grandes que se expuso anteriormente en el presente trabajo que está basada en datos del CMIC (2013) alrededor del 94% de los proyectos de construcción presentan un sobre costo, por lo que el costo se consideró un factor a tomar en cuenta para darle importancia un elemento productivo. En el proceso de investigación del marco contextual del presente trabajo se leyó en datos del INEGI (2023) sobre aquellos materiales ocupados en la construcción de procedencia nacional y aquellos de procedencia internacional, por lo cual se determinó que una de las complejidades de hacer un elemento productivo está relacionado con aquellos materiales que permiten llevarlo a cabo y se agregó como un elemento a evaluar para dar una determinada importancia a cada actividad, ya que si el material no se encuentra disponible no dejará avanzar con el tren de producción además que si es un material complicado de suministrar hace más delicado lo que se tenga que hacer con el mismo, porque de dejarlo disfuncional puede generar una grave afectación en el tren de producción.

Se investigó sobre la cantidad de personas que se dedican a la construcción junto con su nivel de especialización en determinadas tareas y cantidad de personas que se decían a

esa especialidad, se observó que no tiene el mismo nivel de complejidad encontrar personas que se dediquen a determinadas tareas que otras que se dediquen a unas diferentes, por lo que se determinó que un elemento productivo se vuelve complejo según quien lo realiza, por lo que se decidió añadir a la mano de obra experta como un factor que dé relevancia a la realización de un elemento productivo. En los conocimientos y experiencia de quien desarrolla el presente trabajo no todas las actividades tienen exactamente la misma influencia dentro del tren de producción, por lo que se designó determinar la relevancia de las actividades en cuanto a la cantidad e importancia de las actividades que le siguen si es que la misma se realiza. Con todo lo descrito en los últimos dos párrafos se concluyó que la jerarquía de cada elemento planeado y el control del mismo deben ser medidos para de esa manera entender la influencia del elemento dentro del tren de producción, mismo que se planteó sea determinado por medio de una fórmula matemática que tome en cuenta las últimas ponderaciones descritas.

Un concepto que se consideró relevante en el Control de la Producción es la productividad debido a que hacer referencia a lo producido respecto a los medios usados para producirlos, por lo que se adaptó dicho concepto al trabajo realizado porque se consideró relevante determinar el avance en actividades que se tuvo respecto al recurso en común y más relevante que es el tiempo. Otro recurso que se consideró determinante para el avance de los proyectos constructivos de acuerdo a la experiencia del autor es la cantidad de personal operativo que ayuda a la manufactura del proyecto, por lo que se determinó llevar un registro del mismo para en algún punto relacionarlo con los indicadores de rendimiento desarrollados.

Se siguió el concepto de Control de la Producción sobre comparar lo ejecutado contra lo planeado, y después se usó otro concepto relacionado a la producción como el de capacidad para determinar que se necesitaba comparar lo producido de acuerdo a su importancia en un determinado lapso, para que así se observara la cantidad de avance que se tuvo en ese tiempo determinado y se comparara con los recursos que se tuvieron en ese momento, principalmente los humanos y de suministros.

De la sección de Planeación de la Producción se tomó la importancia de asegurar el flujo de materiales en el tren de producción para ahora controlar ese proceso que se había asignado a planear en un MRP. Lo que se estipuló para controlar el flujo de materiales es establecer lapsos de revisión del archivo MRP para que se vaya actualizando de acuerdo a los cambios que puedan surgir en el proyecto y se adapte a las vicisitudes que puedan existir y afecten el flujo de materiales planeado.

Se retomó el concepto de seguridad por su importancia y grandes áreas de oportunidad, se consideró importante tener inspecciones directas de lo que se está realizando y tomando en cuenta lo complicado que puede ser que una sola persona supervise todos los trabajos realizados se propuso un sistema de muestreo que permita revisar en ciertos lapsos trabajos seleccionados de manera aleatoria que puedan ser representativos de acuerdo a las disciplinas que se están realizando y las áreas que se están trabajando. De la mano al muestreo de seguridad se aprovechó para proponer otro muestreo que ahora tome en cuenta la calidad, igual basado en las disciplinas y áreas trabajadas, pero que ahora se aproveche para asegurarse que se están cumpliendo los criterios de calidad que se han establecido y estandarizado con anterioridad, además de basarse en que es más eficiente

muestrear trabajos debido al costo de la prueba de calidad a realizar, y que tome en cuenta el histórico de defectos que se tiene del mismo proyecto o de otros similares.

Dentro de los apoyos visuales por nivel planteados anteriormente y sugeridos en las metodologías investigadas de Lean Manufacturing, se planteó agregar elementos de control que eviten la existencia de criterios propios sesgados o no uniformes, que se investigó es un error muy común en los proyectos, además que los mismos ayuden a determinar algún plan de acción inmediata, se decantó por colocar el avance del espacio donde se encuentra la herramienta como un elemento fundamental para el éxito del mismo. Según lo que se investigó sobre Planeación y Control de la Producción que los involucrados tengan claro el plan o tren de producción es importante para que se involucre o conozca la importancia de su labor en el mismo, por lo que se consideró necesario colocar el tren de producción en general y el estatus del mismo como apoyo visual.

Acompañando el tren de producción en forma de lista, se estableció poner el tren de producción por área como un apoyo visual más claro, de tal forma que se ve cómo se atacan los procesos de manera física y qué secuencia se seguirá. Dentro de las bases que se averiguaron de Planeación y Control de la Producción se encuentra la gestión de materiales como punto clave del mismo, además en la búsqueda de reducir el desperdicio de almacenaje de materiales, se decidió colocar un flujo de materiales dentro del apoyo visual propuesto en los últimos puntos para que se cumpla con los objetivos planteados en el rubro de materiales, considerado tan importante en el proceso.

Del texto de Planeación y Control de la Producción de González (2005) se leyó que para un control de un tren de producción se necesita regular el Plan de Producción y entender aquello que lo pueda alterar, con lo anterior, aunado a que se siguió optando por el uso de los apoyos visuales se colocó un gráfico que mostrara las causas de incumplimiento más frecuentes de la última semana en el mismo, con el fin de que se entendiera cuál es el principal impedimento para que el tren de producción fluya como lo planeado. Se identificó la importancia de la productividad en la realización del presente trabajo para asegurar la consecución de los objetivos generales de los proyectos constructivos, por lo que aprovechar el espacio de la pizarra infográfica general para colocar la productividad de cada contratista involucrada se consideró muy importante para que los mismos reconozcan su rendimiento y actúen sobre él, además que los líderes del proyecto identifiquen a quiénes deben presionar para conseguir los objetivos planteados porque van desviados y quiénes van por el correcto camino.

Mientras se investigó sobre la Industria de la Construcción en México se observó la importancia de la seguridad en la misma, por lo que se consideró un factor que todos debían conocer en cuanto las incidencias existidas en el proyecto y el tiempo sin ellas, por lo que se optó por colocar dicha información dentro de la pizarra infográfica general. Se investigó el concepto de productividad, mismo que hace hincapié en la cantidad de recursos utilizados para obtener un resultado, para ello se consideró como un recurso importante al personal laborando operativamente en los procesos constructivos, por lo que se optó por colocar el histórico del personal en el proyecto para poder interrelacionar la cantidad de personal en el proyecto con el avance en el mismo y la productividad resultante para poder sacar conclusiones o hacer planes de mitigación en caso de ser necesario basado en la cantidad de personas laborando en general dentro del proyecto.

Resultados

Una producción ajustada (Lean Manufacturing) busca minimizar los desperdicios, por lo que en cada uno de los pasos presentados dentro de la siguiente metodología, tiene como objetivo brindar la información necesaria para que se generen la menor cantidad de desperdicios posible, además de proponer indicadores que permiten detectar esos desperdicios para poder erradicarlos o desarrollar acciones de contingencia cuando sean oportunamente detectadas.

Planeación de la Producción

Se prevé que para la entrega de WBS, principal herramienta de Planeación y Control de la Producción pueda haber más de una entrega en caso de que la subcontratista tenga trabajos adicionales a los de su contrato u orden de trabajo original, también se pueden ajustar después los conceptos desglosados siempre y cuando están de acuerdo todas las partes, los cambios pueden ser unir dos o más conceptos, además de desglosar más a detalle algún concepto y también se pueden quitar conceptos en caso de retiro de alcances a la subcontratista o directamente a la contratista.

Previo al Desarrollo de la WBS: Acuerdo de Disciplinas

El proceso de asignación de disciplinas para la WBS es muy importante porque en este paso se van a cimentar las cifras con las que se van a evaluar los avances porcentuales del proyecto. A pesar de ser un proceso con un criterio claro, porque se decide basado en las cifras económicas tangibles, es un proceso en el que se tiene que llegar a acuerdos entre la contratista general, las subcontratistas y el cliente sobre cómo quieren que se evalúe el progreso del proyecto y qué desglose es funcional en este aspecto para todas las partes.

La forma propuesta para trabajar la etapa de “acuerdo de disciplinas” es tomar un listado general de disciplinas previamente desarrollada por la empresa o persona que lleve a cabo la metodología y seleccionar las que se considera corresponden a lo que se conoce se trabajará en el proyecto. Se sugiere elaborar un diagrama de flujo por área desarrollar donde se presente el tren de producción proyectado para cada una de dichas áreas, como apoyo se pueden solicitar los renders y con los mismos investigar los materiales con los que se harán determinados trabajos que no se tengan claros cómo se llevarían a cabo y así determinar las disciplinas que más se adapten a los trabajos a realizar y necesidades del proyecto.

Se deben hacer llegar las propuestas de disciplina a todas las personas líderes del proyecto para así proceder a un intercambio de ideas para entender si se considera que faltan o sobran disciplinas. En caso de que se considere que sobra alguna disciplina se debe justificar la manera en que se absorbe dicha disciplina para que aplique dentro de otra, en caso de dar razones convincentes se debe realizar el cambio previamente visto. Por otro lado, si se considera necesario por alguna parte agregar disciplinas, se tendrá que dar el

sustento del porqué sería bueno tener otra disciplina para desglosar actividades y se debe procurar que estas no fueran confusas con las ya existentes.

Ya acordado el listado de disciplinas a ser aplicado se procede a asignarles valores porcentuales. Para hacer este acomodo con cifras tangibles, se deberá entregar las cifras monetarias presupuestadas que serán destinadas a desarrollar para cada una de las disciplinas. No es necesario que sean cifras exactas, pero que sí sean parámetros aceptables y lo suficientemente claros para poder asignar valores más certeros a las disciplinas enlistadas.

El valor porcentual (P%) se obtendrá una vez que se hayan llenado todos los valores monetarios asignados a cada disciplina, mismos que serán sumados darán un valor "n". Cada disciplina tendrá un valor porcentual que será su valor económico (X) entre el valor económico total de todo que es "Y", por lo que el valor de cada uno será (X/Y)%. A continuación se ejemplifica de pequeña manera cómo funcionaría:

$$\begin{aligned} \text{Costo Disciplina 1} &= \$X_1 & \text{Costo Disciplina 2} &= \$X_2 & \text{Costo Disciplina 3} &= \$X_3 \\ & & \vdots & & & \\ & & \text{Costo Disciplina n} &= \$X_n & & \end{aligned}$$

$$\text{Costo Total} = \sum_{i=1}^n X_i = \$X_1 + \$X_2 + \$X_3 + \dots + X_n = Y$$

$$\begin{aligned} \text{Valor \% Disciplina 1} &= \left(\frac{X_1}{Y}\right) = P_1\% & \text{Valor \% Disciplina 2} &= \left(\frac{X_2}{Y}\right) \\ &= P_2\% & \text{Valor \% Disciplina 3} &= \left(\frac{X_3}{Y}\right) = P_3\% & \vdots & \text{Valor \% Disciplina n} = \left(\frac{X_n}{Y}\right) \\ &= P_n\% & & & & \end{aligned}$$

$$\vdots \sum_{i=1}^n Z_i\% = Z_1\% + Z_2\% + Z_3\% + \dots + Z_n\% = 100\%$$

La principal intención de realizar lo anteriormente mostrado es para generar el primer criterio y determinar el valor porcentual de una actividad, esto de acuerdo a la disciplina que le sea asignada de acuerdo a sus características. Ese proceso debería realizarse una sola vez, esto al principio del proyecto, sólo en excepciones muy fuertes donde se considere muy necesario generar una disciplina para tener un mejor entendimiento del proyecto se llevará a cabo nuevamente este proceso posteriormente. Se debe procurar no generar disciplinas después de cerrar este proceso, porque la generación de una nueva disciplina moverá los datos ya existentes y alterará varios indicadores dentro del proyecto, especialmente si ya se empezó la implementación práctica de los procedimientos propuestos en el presente trabajo.

Desarrollo de la WBS Primera Parte: Desglose

Previo a la realización de una WBS formal la subcontratista debe tener claro dos elementos clave para asegurar que la herramienta será realmente eficiente, dichos elementos son sus alcances a realizar y el presupuesto de los mismos. En esta primera etapa nos interesa principalmente que se tengan claros los alcances de su contrato u orden de trabajo a desglosar.

El primer paso para llenar este archivo es desglosar las actividades que se realizarán una a una. Se sugiere que usen su catálogo de conceptos o su desglose de costos unitarios. El objetivo es que describan en oraciones sencillas las actividades a realizar, procurando que sean claras y concisas sobre qué se va a realizar. En ocasiones, en un solo concepto se pueden agrupar dos o más actividades si así se consideran necesarios por alguna de las partes inmiscuidas. Ejemplos de actividades podrían ser “Colado de columna”, “Demolición de muro”, “Colocación de ductería”, “Pasta y pintura blanca en muros”, “Instalación de cocina”, etc. Se debe ser muy específico sobre la actividad a realizar, pues recordemos que estas actividades serán cobradas y no debe dejarse espacio a una mala interpretación de lo que se realizará en caso de alguna disputa futura. Las actividades pueden ser repetitivas, lo que conlleva a que se repita la misma oración más de una vez; lo anterior está permitido la cantidad de veces que sea necesario siempre y cuando se consiga una manera de diferenciarlos con alguna de las secciones dentro de la WBS que se verán a continuación. Estas actividades puede verlas cualquier persona que desee consultar el desglose, histórico o planeación del proyecto por lo que también se debe hacer una revisión de ortografía y redacción para una correcta presentación.

El segundo paso es llenar la sección “Nivel”, donde se colocará en cuál de estos se va a realizar cada una de las actividades. En esta de sección se toman en cuenta los sótanos, planta baja, niveles superiores y azotea. Es la primera forma de empezar a diferenciar entre actividades repetitivas, aunque puede que no baste con esta sola sección porque en un solo nivel pueden realizarse varias veces una misma actividad.

En caso de actividades que se realizarán más de una vez se contaría con una sección llamada “Ejes”. Recordemos que las frases deberían ser sencillas, por lo que basta en ocasiones con un verbo y algún predicado, entonces para actividades repetitivas la manera de diferenciar entre una y otra es en la ubicación donde se va a realizar. Para esto, quien realiza la WBS se debe basar en los ejes que tienen los planos, los cuales son los mismos para todas las contratistas. Esta sección se sugiere ser usada por contratistas de demolición, de estructura y por algunas de sistemas mecánicos, eléctricos y fontanería (MEP por sus siglas en inglés).

En apoyo de la sección anterior debe existir otra que es “Zona” en la cual se ponen más claramente los lugares donde se realizarían las actividades, esto con la intención de hacer más fáciles y distinguibles donde se realizan las actividades para cuando se necesitara consultar, pues ya no es necesario revisar los ejes en el plano, simplemente bastaba con conocer el proyecto. Esto es usado como otra forma de distinguir entre actividades repetitivas y las hace más particulares. En este caso se debían usar zonas más tangibles como el un número de departamento, número de local, número de local, área de venta, pasillos, lobbys o nombrando alguna zona común donde se realizarían los trabajos. Cabe

acotar que si la actividad no está completamente terminada en toda la zona marcada, entonces no se podría considerar como finalizada, así faltase lo mínimo.

Después de esta etapa se asigna una “Disciplina” en la sección correspondiente. Se basa en el listado de disciplinas que se designó anteriormente, esta sección es muy importante porque, como se mencionó, es el primer criterio con el que se le empieza a asignar valor a cada una de las actividades. Comúnmente esta sección es igual en toda una WBS, porque cada contratista suele trabajar por una sola disciplina, aunque en ocasiones sí se podría asignar más de una. La disciplina debería ser ocupada en su mayoría en la entrega más fuerte de la contratista que la realiza, pero en otras ocasiones se puede dividir entre varias contratistas o puede volver a ser ocupada si se asignan trabajos adicionales de la misma a quien lo realizó o a nuevas contratistas.

Posteriormente se procede a llenar la sección denominada “Especialidad”. Esta sección va muy ligada a lo anterior. Esta sección igual sirve para hacer más específica la actividad y en ocasiones diferenciarlas de las demás. La especialidad es más específica sobre qué tipo de actividad se va a realizar dentro de la disciplina, por ejemplo dentro de la especialidad de “Estructura” pueden haber tipos de actividad como “Cimbrado”, “Armado” o “Colado”, esos tipos de actividad son designados como “Especialidad”; otro ejemplo para dar más idea de cómo funciona pueden ser las especialidades “Tubería”, “Cableado” o “Accesoriado” dentro de la disciplina “Instalaciones Eléctricas”.

Estas especialidades se sugiere sean planteadas únicamente por quien lideraría la aplicación de la presente metodología y esa misma persona debe contar con un catálogo amplio según con su experiencia y que propondría sin distinción en todos sus proyectos, pues es solamente una manera de diferenciar entre actividades y no un método de asignación de valor, por lo que se podría considerar que un catálogo abierto podría hacer más sencilla la labor de quien realiza la WBS.

Otra manera de ver las especialidades podría ser “dónde se van realizar las actividades”, tomando como ejemplo la disciplina de “Tablaroca” donde pueden ir especialidades como “Muros”, “Plafones” o “Cajillos” que son lugares físicos donde se pueden realizar trabajos como armado, pintura o empastado; yendo sobre un ejemplo como el anterior pueden haber actividades con especialidades como “Cocina”, “Closet” o “Puertas” para la disciplina de “Carpintería”.

Por otro lado, otra manera de entender lo que son las especialidades es como trabajos especiales y específicos que pueden realizar las contratistas como en el caso de la disciplina “Fachada”, existen tipos de fachada a realizar como “Sistema EIFS”, “Window Wall” o sencillamente “Fachada Sólida” e igual para ilustrar lo anterior se hará el ejemplo con la disciplina “Pisos” y sus respectivas especialidades como “Piso Vinílico”, “Piso Kisko” o “Piso Cerámico”

En ocasiones las especialidades pueden compartirse entre disciplinas, por ejemplo la especialidades “Puertas” puede funcionar para disciplinas como “Carpintería” o “Herrerías” dependiendo el tipo de puerta al que se refiera, otro ejemplo puede ser cuando se tiene la especialidad “Lavamanos” en las disciplinas “Herrería” y “Cerámicos”, esto debido al trabajo que se realice para tener el producto final como la base metálica y el acabado que va a llevar respectivamente.

A diferencia de las Disciplinas, las Especialidades sí podrían ser propuestas con menos rigor en el transcurso del proyecto, sin embargo, deben venir propuestas por la Subcontratista, la contratista general, el cliente o quien impulse la propuesta aquí planteada y debe ser autorizada por todas las partes. La aprobación debe hacerse si se considera que la creación de la nueva especialidad contribuye a una mejor y útil segmentación de las actividades para hacerlas más fácil de localizar y que podrían ayudar a su posterior estudio.

Desarrollo de la WBS Segunda Parte: Costos

Aunado a lo anterior, el cliente, la supervisión o la contratista general deben acordar de qué cuenta se va a tomar el dinero para dicha actividad, pues sirve para tener un control presupuestal antes, durante y después de los trabajos. Dicha cuenta se convierte en una “bolsa” donde los contratistas generales tienen asignado cierto dinero que pueden ocupar para realizar determinadas actividades relacionadas con dicha cuenta. Las cuentas existen en distintos niveles que posteriormente serán descritos.

Después del llenado de las especialidades se procede a asignar costos a cada una de las actividades a realizar. En este proceso la subcontratista debe consultar su catálogo de precios unitarios para de esa forma darle un costo a cada una de las actividades a realizar. Deben de tener en cuenta que no podrán cobrar la actividad hasta que no esté totalmente hecha, por lo que esta etapa les ayudará a ver si su desglose es el correcto porque les dará panorama de si lo que desean cobrar es realmente lo que plasmaron en su WBS. En dichos costos ellos deben de tener en cuenta los materiales, mano de obra, equipo y los metros cuadrados o cúbicos del trabajo para sumar al costo. La revisión de esta etapa consta en ordenar de menor a mayor los costos y ver que no hubieran costos altos para actividades simples o viceversa con la intención de pagar lo que realmente se está haciendo. Además, se debe asegurar que el total del costo de la WBS sea exactamente igual al costo pactado en el contrato, orden de cambio u orden de compra

Desarrollo de la WBS Tercera Parte: Asignación de Fechas

A cada una de las actividades se les va a asignar un periodo de tiempo para ser realizadas, esto con la intención de planear todo lo que conlleve y entender dónde se debería estar en un determinado periodo de tiempo. Esta parte es la más importante dentro de la WBS en el aspecto de Planeación de la Producción pues, como vimos anteriormente, entendiendo el periodo de tiempo en el que se hará una actividad se pueden planificar los costos, mano de obra y suministros que implica dicha actividad.

Un aspecto muy importante a tomar en cuenta para la realización de cualquier tipo de planeación y que puede ser un diferenciador de lo aquí planteado a lo que normalmente se hace en la construcción en México es que se debe planificar con una metodología “Pull” en lugar de lo típico que es de una forma “Push”. Esto lo que plantea es tomar la fecha de la última actividad de la planeación y basado en ella empezar a plantear de adelante para atrás, es decir, hacer el tren de producción de la última actividad a la primera. Esto nos ayuda a asegurar una fecha de término, igual obliga a encontrar la manera de comprimir actividades en cuanto a tiempo y ver la manera de hacer actividades simultaneas. El otro tipo de planeación no nos dará una fecha fin compromiso debido a que el plan de acción se hará sobre la marcha y en este caso es un poco más complicado que se observen las

actividades simultaneas o que pueden ser reducidas en su tiempo, además de que se puede tender a hacer un plan complaciente al llegar a la fecha fin ajustando de más otras actividades y dejando holgadas actividades que probablemente puedan ser comprimidas en tiempo.

Existen tres tipos de fechas que son llenadas en esta parte del proceso, dichas fechas son: pactada, acuerdo y programación. Cada una de las fechas tiene un objetivo distinto, aunque trabajan de la mano. La primera entrega de WBS debería incluir a las tres fechas con los mismos valores.

Las fechas pactadas son aquellas que se acuerdan con algún programa que se aceptó a la contratista general. Es un desglose comúnmente de actividades generales donde se muestra cuál es el plan que se va a seguir de inicio y término de actividades con el objetivo de concluir todo el proyecto en la fecha pactada en contrato o convenio modificatorio. Estas actividades pueden ser un simple desglose de programa por disciplinas o especialidades con sus respectivos niveles y fechas en las que se va a realizar, por lo que pueden ser un cúmulo de actividades que tengan las mismas fechas base.

La fecha acuerdo es muy parecida a la fecha pactada anterior con la diferencia que es el acuerdo alcanzado entre la subcontratista que presenta la WBS y la contratista general o supervisión. Esta fecha debe servir para medir a la subcontratista respecto a lo que debía conseguir. El indicador personalizado para la subcontratista puede funcionar para presionar a la subcontratista para que labore al ritmo que convenga a la contratista general. En un inicio suele ser igual a las fechas base porque son las fechas de acuerdo contractual entre el cliente, la supervisión, la contratista general y la subcontratista.

La última fecha que se llena es la programación. Esta fecha es en la que se plantea que realmente pasarán las cosas, es una fecha mucho más exacta y personalizada por actividad que las anteriores. Puede ser más holgada que las anteriores, pero debe de estar siempre en acuerdo con todas las partes interesadas. Esta fecha puede variar a la del contrato en su fecha de inicio de la WBS general y en las fechas intermedias de la misma, pero la fecha fin de la WBS no puede variar a la del contrato original.

Resumen Físico de Planeación

Basado en los datos con los que cuenta en las WBS, se tienen las actividades que se planean realizar en un determinado periodo de tiempo basado en los tres tipos de fecha que vimos anteriormente. En este caso, se plantea proyectar una parte de planeación de dichas actividades divididas primordialmente por el nivel donde se encuentra, después por la disciplina a la que pertenecen, posteriormente por la especialidad y finalmente por la actividad a realizarse. Esto es así con la intención de que se puedan hacer recorridos en las áreas del proyecto con dicha sección, ya sea impresa o digital, y se pueda ir rectificando que el avance es el planeado.

Esta sección será denominada como “Resumen Físico de Planeación”. La denominación es tal porque muchas veces se puede optar por imprimir dicha sección y con esas hojas físicas se debería ir haciendo recorridos. Si en el recorrido realizado se encuentra algo que no va acorde con lo planeado, pues se detecta algún retraso notorio o alguna discordancia en el plan proyectado, esto será anotado por quien lo encuentra para posteriormente

platicarlo entre los involucrados con el fin de encontrar un plan para disminuir o erradicar el riesgo encontrado.

El Resumen Físico de la Planeación muestra las actividades que deben realizarse esa misma semana según lo informado por las WBS, al mismo tiempo basado en lo mismo debería mostrar la proyección de actividades por área en un horizonte de 2, 3 y hasta 4 semanas adelante, esto debido a que se considera un horizonte óptimo para poder estimar si se tiene lo necesario para cumplir con lo ahí planeado, además que aún se estaría en tiempo (aunque un tanto apretado) de poder generar planes para de esa manera poder revertir el estatus actual si así se considera. Además, no se da un horizonte más amplio o lejano para no desviar la atención de quienes realizan el recorrido y no generar ruido sobre temas de los que aún no es posible tener visibilidad debido a la lejanía de su realización según la planeación.

Manual de Calidad

Se considera importante para asegurar y homologar la calidad en los proyectos constructivos contar con un manual de calidad para la recepción de áreas. Este manual de calidad debe ser compartido y pactado con todos los involucrados, especialmente los líderes del proyecto con la finalidad de que se aseguren que los trabajos que liderarán y supervisarán cumplirán con aquello que el cliente considerará necesario. Además, cada una de las subcontratistas que trabajan en los proyectos estará obligada a conocerlo y firmarlo con la intención de que conozcan con qué clase de calidad deben realizar los trabajos y exigir a las subcontratistas que hagan trabajos predecesores relacionados una determinada calidad de entrega que les sea funcional y que corresponda a lo solicitado, para que de lo contrario, lo reporten ya que puede afectar su trabajo.

El manual de calidad debe contener criterios tanto cuantitativos como cualitativos para poder determinar lo que se desea tener en las áreas con las que se cuentan. El manual viene se sugiere que venga seccionado por disciplinas, mismas que se acomoden por orden alfabético para ser más sencillas de encontrar. Además, se sugiere que contenga criterios dependiendo del material con el que se trabaje, pues a pesar de poder ser un mismo trabajo la calidad del mismo puede variar dependiendo de con qué o cómo se haga, porque hay materiales con los que se debe ser más estricto al ser más sencillos de trabajar o porque una falla puede ser más notoria.

Una particularidad con la que puede contar el manual de calidad es que en la sección de cómo medir los criterios se haga de una manera más sencilla que con instrumentos de medición. Para mediciones más sencillas se puede contar con métodos tipo Poka Yoke donde con elementos que comúnmente se encuentran a la mano en cualquier momento como una tarjeta (ya sea identificación, bancaria, de transporte público, etc.) o unas llaves se puede determinar si algún elemento cumple o no con el criterio de calidad, pues en esos casos si el elemento entra entre algunos elementos construidos es porque los mismos no cumplen con el criterio de calidad definido en el manual.

Por otro lado, este manual debe contar con criterios medibles para determinar la calidad de un trabajo. Para esto se determina medidas máximas o mínimas que debe tener algún elemento o desperfecto para considerarse aceptable o de lo contrario ser rechazada. Al ser

algo medible no queda a criterio y ya fuera con una cinta métrica, un flexómetro o un vernier se procede a medir para ver si el trabajo es funcional o no. Otro criterio es medir alguna distancia desde la cual se pueda ver o no el desperfecto, en caso de cumplir con los criterios requeridos se aprueba el trabajo, en este aspecto puede ser más abierto porque algunas personas pueden ver algo y otras no, por lo que no queda del todo claro, pero puede ser funcional cuando se somete a votación de quienes estén presentes.

Por último, el manual puede contar también con criterios cualitativos, pero para tener un criterio más homologado es necesario dejarlos plasmados en el manual, ya fuera digitalmente o impreso a color, porque en dicho manual se sugiere que contenga imágenes o paletas de colores que permitan determinar más claramente si era algún trabajo es aceptable o no si se logra encontrar la relación de lo que se tiene físicamente y lo que se puede ver en el manual. Al ser un criterio cualitativo queda a juicio de quien revisará, pero se destaca que con los apoyos anteriormente mostrados será más fácil llegar a un acuerdo en común.

Los criterios anteriormente mencionados deben ser recopilados de fuentes provenientes de instituciones confiables y con experiencia en el ámbito de la construcción tanto nacional como internacional. Además, muchos criterios que se tomarán en cuenta para el manual se sugiere que sean cruzados entre varias fuentes para determinar el criterio más funcional, se puede optar por tomar criterios lo más ajustados posible para asegurar una mayor calidad en el trabajo a realizar. Hay criterios que quizá no sea posible cruzar debido a que la información puede ser muy escasa y se puede optar por tomar lo que se haya podido encontrar.

Debe existir una diferencia entre los trabajos en edificios nuevos y trabajos de remodelación, porque unos ya se ven afectados por trabajos previos y los otros deben cumplir con ciertos criterios mayores en calidad al ser edificios hechos a las medidas y requerimientos totales del cliente. Se debe realizar una investigación sobre criterios un tanto más laxos pero que tomen primordialmente en cuenta la seguridad al momento de remodelar una edificación con las mismas fuentes utilizadas para realizar el manual de calidad de edificaciones nuevas.

Plantillas de Calidad

Se considera desarrollar plantillas de calidad donde se plasmen los criterios homologados en el manual de calidad de acuerdo al trabajo a realizar como un listado de lo que se desea recibir como producto final de un determinado trabajo. Un elemento a tomar en cuenta para que un trabajo se realice correctamente es la seguridad de quien lo realiza tanto refiriéndose al equipo de protección personal que ocupará como las herramientas que utilizará y las circunstancias del área donde se encuentra, por lo que se debe tomar en cuenta en la plantilla aquí planteada. Para asegurar que la calidad en el producto general sea total se deben tomar en cuenta los trabajos anteriores relacionados con el que se hará, lo que igual debe tomarse en cuenta.

La plantilla se debe desarrollar en forma de check list donde se muestren todos los puntos a seguir y si los mismos son cumplidos. Se sugiere que incluya las secciones que a

continuación se enumeran y que se consideran funcionales tanto para la calidad del trabajo como para la seguridad de quien lo realiza:

- 1) Revisión previa del área: En esta sección se debe describir la condición deseable en la que se debe encontrar el lugar donde se realizará el trabajo, esto con la intención de contar con un medio de trabajo seguro y que permita realizar lo deseado con la mayor calidad y seguridad posible. Además, se debe reportar cómo se recibe el área con los trabajos anteriores realizados, esto con la intención de reportar algún desperfecto observado.
- 2) Listado de Equipo de Protección Personal a ocupar: El objetivo principal de esta evaluación es mantener seguro al encargado de realizar la actividad, además de conseguir ergonomía para el operador de tal forma que sintiéndose seguro en lo que hace pueda concentrarse de mejor manera en la calidad del trabajo que está realizando.
- 3) Revisión previa del equipo a utilizar: Se deben hacer inspecciones específicas a los equipos que serán utilizados para hacer el trabajo, esto con la intención de que el usuario esté seguro en caso de fallas y sobre todo prevenir accidentes. Además de que si se revisa que los equipos funcionan eficientemente y como se espera muy seguramente el trabajo realizado tendrá más calidad y se van a prevenir errores en calidad causados por una falla en el equipo, además de asegurar un trabajo más eficiente.
- 4) Revisión previa del material a utilizar: Se debe ser muy cuidadoso acerca del material que será utilizado para realizar la actividad planteada. Esta revisión se debe hacer con la intención de que dicho material no presente ningún daño previo a ser utilizado porque puede representar un problema al momento de realizar el trabajo debido a que puede verse dañado o afectar la calidad final de la actividad. Además en determinados materiales, si es que estos están dañados, pueden representar un riesgo a la seguridad al operador.
- 5) Cuidados al momento de realizar la actividad: Son puntos específicos de cuidado que se deben tener al momento de estar trabajando lo deseado debido a que se consideran elementos determinantes en la calidad del trabajo. Generalmente son expresados como instrucciones porque son acciones puntuales más que revisiones, aunque también pueden existir de esta última clase.
- 6) Revisión de la calidad final de la actividad realizada: Este punto puede ser considerado el más importante dentro de lo que se plantea en las inspecciones de calidad ya que es donde se indica lo que se espera finalmente de la actividad realizada. En este punto se expresan las características y cualidades con las que debe contar aquello realizado. Se debe determinar además el tipo de acabado final con el que se debe contar en caso de ser una actividad que no tenga una alguna otra posterior que esté estrictamente ligada a esta; en caso de sí tener alguna actividad posterior ligada y que dependa de ésta, se deben indicar con qué preparaciones debe contar para ser de utilidad y de esa forma ser una actividad predecesora exitosa.
- 7) Revisión final del equipo utilizado: Se considera necesario revisar el equipo que fue utilizado para ver si este no sufrió ningún daño para que, en caso de sí contar con algún daño, ser analizado porqué se dañó el equipo, qué se debe cambiar para evitar que esto pase y finalmente ver la afectación que este daño pudiera tener en el trabajo final realizado. Además, en algún caso puntual donde el equipo utilizado

se vea incompleto o mutilado se debe identificar perfectamente donde quedó la pieza faltante debido a que podría encontrarse incrustado en alguna parte del trabajo final y esto podría ocasionar daños de funcionalidad o de acabado en aquello realizado.

- 8) Cuidados finales del área de trabajo: Una vez terminada la actividad se debe realizar una inspección detallada del lugar de trabajo para observar si no quedó suelta alguna parte de aquello realizado que pueda ser determinante en funcionalidad o acabado, además de tener bien identificados los residuos de los materiales utilizados para ser correctamente separados al momento de ser desechados. También se debe dejar lista y limpia el área para la siguiente actividad, así sea una que vaya ligada a la recientemente hecha. Además, es importante determinar como se deja el área, por si se reporta algún daño adjudicado a quien realizó la actividad, este pueda apelar si así lo considera.
- 9) Revisión final del Equipo de Protección Personal: Este es el último paso sugerido para la realización de estos trabajos. Es deseable que se realice debido a que, en primera instancia, si algún Equipo de Protección Personal presenta daños o rarezas es porque muy seguramente cumplió alguna de sus funciones, por lo que debe revisarse la parte del cuerpo del operario que el EPP se encargaba de proteger para determinar si el operario sufrió alguna clase de daño, así éste no se sintiera o se observara de primera mano. Por otro lado, al revisar la integridad del EPP, se asegura que ninguna parte de este se ve comprometida con la actividad realizada o la calidad de la misma.

Cabe resaltar, que no todas las secciones anteriores son obligatorias, pues queda a criterio de quienes realizan y revisan las plantillas de calidad si estas pueden ser o no omitidas. Además, se pueden unir dos o más puntos de los anteriores en una sola sección de inspecciones de calidad. Las secciones no tienen un límite máximo o mínimo de puntos a ser supervisados, pero se debe tener énfasis en los puntos 5 y 6 porque son consideradas las más importantes para conseguir una satisfactoria calidad final en las actividades realizadas.

Se sugiere una cantidad de tres puntos en promedio por cada sección debido a que se considera un número suficiente para dar un panorama claro a la calidad esperada y supervisada en cada sección, además que al no ser un número tan amplio de puntos se vuelve ágil este proceso, pues no se pretende que sea tedioso debido a que perdería la seriedad y la gente pasaría a realizarlo como un simple requerimiento en lugar de verlo como la herramienta que es, ya que su objetivo final es asegurar la mayor calidad deseada en las actividades realizadas.

Material Requirement Plan (MRP)

Se considera necesario contar con un MRP en cualquier proyecto de manufactura porque permite tener un control de los materiales necesarios para el avance que se debe realizar. Se propone un formato que tenga programado ciertas acciones y así dar seguimiento con alertas en caso de retraso de algún suministro con base en los planes de producción y en particular por el Lead Time de cada material.

El primer paso será hacer un llenado sobre aquellos materiales y equipos a ser utilizados e instalados en el dentro del MRP en una sección denominada "Material y Equipo". Con base

en los renders y planos finales se debe hacer un estudio de los mismos para determinar los materiales y equipos claves para enlistarlos. Este estudio se debe hacer por cada área o nivel a construir, naturalmente que si las áreas a desarrollar son iguales entre sí, se puede dejar un listado similar por área, pero es importante desglosar el material de cada área por separado. Se debe desarrollar el WBS teniendo en cuenta cuántos de los tipos de materiales podrían llegar en un embarque o pedido para que sean desglosados por embarque y dando como resultado final la cantidad de embarques necesarios; en caso de poder llegar sin limitaciones de embarques simplemente se desglosaban por nivel dichos materiales.

Un método particular para desarrollar el MRP para instalaciones tipo MEP puede ser tomar un nivel o área tipo para que se desglosen cada uno de los equipos y la cantidad de los mismos a ser suministrados. En caso de existir algún material para tubería o soportería difícil de conseguir también debe ser desglosado en el MRP. De ahí se debe pasar a revisar cada una de las zonas donde irían equipos particulares de instalaciones para llenarlos en el MRP; se debían revisar los cuartos eléctricos, de control, de instalaciones hidráulicas, cisternas y cualquiera que llevara equipos MEP. Es importante el llenado de estos equipos porque son determinantes para el funcionamiento del edificio y, en muchas ocasiones, abren tramo a nuevos trabajos.

Por otro lado, para el desarrollo del MRP en la parte de acabados arquitectónicos se debe revisar un nivel tipo para determinar la cantidad de los mismos que hay para registrar en el MRP. Se hará revisando la cuantificación de los materiales para saber la cantidad en piezas de los mismos que son ocupados en cada disciplina como lo pueden ser cantidades de hojas de tablaroca, cantidad de botes de pintura, cajas de piso vinílico, de cajas de pisos cerámicos, rollos de alfombra, etc. Además, se deben identificar los tipos y modelos de otros acabados que varían dependiendo del área para pedirlos en particular como pueden ser las puertas, cocinas, closets, etc. La intención de hacerlo en elementos más tangibles como cantidad de hojas, botes, cajas o rollos de materiales en lugar de hacerlo en elementos más exactos, pero poco tangibles como metros cuadrados, metros lineales o litros es para hacer más fácil el conteo de los mismos y poner en práctica de una manera más rápida y eficiente el uso de la herramienta MRP.

Una vez realizados los pasos anteriores se procede a llenar una sección dentro del MRP que se denomina "Fecha de Requerimiento", en la sección mencionada se coloca la fecha en la que se ocupará el material requerido para alguna actividad o proceso. Esto con la intención de realizar una planeación "Pull" tomando como fecha de partida aquella en la que sea requerido el material.

¿Qué es una programación Pull? Cuatrecasas (2012) lo explica de la siguiente forma: "La línea necesitará materiales y componentes procedentes de proveedores exteriores y procesos de producción que preceden el ensamblaje final, para los cuales habrá que establecer la correspondiente programación de productos en la clase, cantidad y momento que se exija. (...) . Así, pues, procedemos a recorrer, de esta forma, la cadena de producción completa, desde el final al principio, desde el cliente final hasta los proveedores de materias primas, en un claro proceso de arrastre (Pull)."

En la propuesta planteada se mantiene como primer paso colocar la fecha en la que va a empezar a usarse el material para la actividad en el nivel y zona donde será ocupado,

tomando en cuenta que dicho material debe repetirse las veces necesarias para tener un seguimiento más puntual del mismo. Esa fecha se debe verificar directamente con la fecha programación actualizada que se encontraba en el WBS correspondiente a la actividad que solicita dicho material. La intención de lo anterior es seguir con la programación "Pull", pues ese tipo de programación ayuda a entender las fechas en las que deben ser solicitados, facturados, enviados, suministrados, almacenados y utilizados respectivamente.

Posteriormente se procede a llenar un solo dato por cada uno de los suministros entregados, ese mismo dato será el determinante para arrojar alertas, el cual será el Lead Time que menciona el proveedor podría ser la llegada del material solicitado a sitio. Ese Lead Time deberá ser convertido a días naturales, pues los proveedores a veces lo dan en horas, días laborales, semanas, meses o según ellos crean conveniente; esto tiene la intención de homologar el criterio y para hacer cuentas más claras posteriormente. Cabe resaltar que ese Lead Time se debe acordar que correrá a partir del pago del suministro y no de algún otro evento, lo anterior con la intención de evitar malos entendidos y que haya un compromiso por todas las partes, pues se considera que no hay evento más determinante para empezar el suministro de material dentro de la Industria de la Construcción que el pago del mismo.

Una variante por la que se opta es solicitar a quien llene el MRP que coloque dos escenarios en dichos Lead Time, el primero que sea el más optimista brindado por el proveedor y otro que sea el peor escenario dado por el mismo, lo anterior con la intención de entender ambos escenarios y poder visualizar las alertas con base en los mismos. Además, es común que los proveedores no se comprometan a una fecha y pueden optar por dar rangos de fecha, también por esta razón se considera funcional manejarlo así. En el caso de tener un tiempo de entrega totalmente claro, en ambos escenarios se debe colocar el mismo Lead Time. Una vez realizado el pago, y en caso de ser totalmente acordado el Lead Time, este debe colocarse como único criterio para arrojar alertas y, además, se convertirá en un medio para exigir a los proveedores.

Para asegurar que el Lead Time colocado es verídico, el encargado del MRP debe solicitar los documentos de respaldo que haga llegar el proveedor donde venga el tiempo de entrega que se llenó en el MRP. Dichos documentos deben ser de acceso total para todos los involucrados en el proyecto y deben encontrarse en una herramienta a la que todos tengan acceso, dentro de la herramienta se debe solicitar que pongan una nomenclatura especial como la sugerida a continuación: MRP-Disciplina-Proveedor-Material. En el MRP se agrega una sección donde se coloque el nombre del documento correspondiente al suministro para poderlo rastrear. Los documentos que se suban para hacer estos seguimientos deben ser del tipo como contratos, facturas, estimaciones, pagos, recibos, presupuestos y demás documentos que tengan por escrito explícitamente el tiempo de entrega, esto es obligatorio previo al pago.

El cómo deben funcionar las alertas en el archivo se debe basar en tres factores que son la fecha inicio de la actividad en la que se usará el material, el Lead Time del mismo y el ciclo de pago. Lo que hace falta explicar de los tres factores es el ciclo de pago, lo cual se hará a continuación, tomar en cuenta que dicho ciclo varía de acuerdo a la empresa emisora del pago.

Por ciclo de pago se entenderá al lapso de tiempo entre que se mete una solicitud de pago y cuando este mismo es emitido en un determinado día, en este lapso de tiempo se pueden llevar a cabo diversos procesos internos para asegurar que el pago no tendrá vicisitudes por ninguna de las partes. El ciclo se sugiere que sea inalterable para evitar variaciones en el ciclo de suministros general y durante el mismo puede haber alguna solicitud de información faltante, la cual debe ser entregada lo más rápido posible para evitar que el ciclo de pago se reinicie y afecte el suministro exitoso del material.

Se decidió elaborar una fórmula que ayudará a arrojar las alertas de una manera más certera y que tome en cuenta las condiciones anteriormente mencionadas que se consideran determinantes para el suministro de material en la construcción según la experiencia del autor. La fórmula toma en cuenta como variable el Lead Time, como constante el ciclo de pago, ambos en días naturales, y como otros factores a tomar en cuenta el día en que se hace la revisión del MRP (que en ese momento es el día actual) y el día que se tiene planificado para empezar a hacer la actividad con el material solicitado. Se designan rangos de días dentro de los cuales la alerta cambiará dependiendo de qué tan ajustado sea conseguir el suministro o si ya se ha pasado la fecha para que llegue a tiempo. A continuación se muestra como se propone la funcionalidad de los rangos por medio de fórmulas y una breve explicación del porqué se consideró realizarlo de tal manera para un mejor entendimiento:

$$\text{Lead Time} = LT$$

$$\text{Ciclo de Pago} = CP$$

$$\text{Día Actual} = HOY$$

$$\text{Inicio de Actividad} = IA$$

Caso I cuando el suministro está a tiempo, pero será almacenado:

$$HOY + LT + 2CP < IA$$

Esta fórmula nos arrojará el día en que llegará el material a ser suministrado si fuese pedido en el momento de la revisión, también toma en cuenta dos veces el ciclo de pago debido a que no se considera óptimo que sea solicitado en ese ciclo de pago. Si el cálculo arroja un día menor o anterior de la fecha de inicio de actividad entonces se deberá entender que el suministro aún está en tiempo de llegar, pero que deberá ser almacenado con el riesgo de daño o costo por almacenaje que implica cayendo en posibles desperdicios como esperas en caso de no dejar el material a la mano y tenerlo que buscar, transporte al momento de trasladar los materiales del almacén a la zona de uso y claro que el desperdicio de

sobrealmacenaje. El ciclo temporal planteado en este primer caso se muestra a continuación:



Figura 3. MRP Caso I

Caso II cuando el suministro está justo a tiempo (Just In Time):

$$HOY + LT + 2CP > IA > HOY + LT + CP$$

Este caso implica que si el cálculo arroja que el tiempo de entrega es mayor a cuando debe hacerse la actividad tomando en cuenta un ciclo de pago, pero menor tomando dos ciclos de pago es porque debe pedirse en ese momento, esto debido a que un ciclo más implicaría salirse del tiempo establecido para el inicio de actividad. La lógica es que si se pide después de tener dos ciclos de pago tendrá menos tiempo de almacenaje, y al mismo tiempo, si se pide antes de que quede un solo ciclo de pago el suministro se encontrará en tiempo cuando sea necesario. Este segundo caso se ve representado en el siguiente ciclo temporal, donde se ve la precisión de suministro con uso:

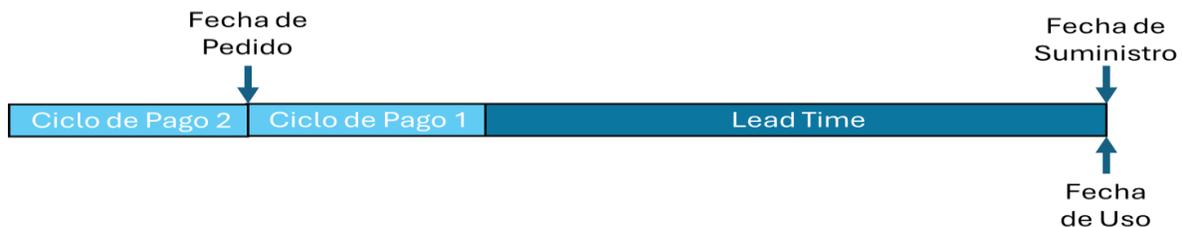


Figura 4. MRP Caso II

Caso III cuando el suministro está a destiempo:

$$HOY + LT + CP > IA$$

Suponiendo que el día de la revisión se emite el pago, aunado a que la suma del Lead Time y el Ciclo de Pago hagan que la fecha de llegada del material sobrepase la fecha de inicio de actividad es porque el suministro ya está fuera de tiempo y se debe arrojar la alerta correspondiente para que, con base en ello, se tomen decisiones sobre el suministro a destiempo. De acuerdo con lo anterior, las decisiones deben ir enfocadas a ver la forma de hacer llegar a tiempo el suministro, ya sea pagando un transporte más rápido, consiguiendo otro proveedor u otra opción viable para el mismo, de lo contrario entender el impacto en el

proyecto por dicho retraso, ya sea moviendo el programa planeado o, como última opción, aceptar el impacto y retraso en programa por la mala gestión.

En resumen, el MRP debe ser sencillo en su llenado porque sólo pide cuatro datos para poder arrojar alertas mucho más fieles que las anteriormente mostradas. Además, sólo existen tres tipos de alertas que indican ya sea que todo va bien, pero se almacenaría más tiempo de lo necesario el material, que ya está en tiempo de ser solicitado (en su punto Just In Time) o que el mismo está a destiempo. A continuación se muestra este ciclo temporal con su respectivo retraso.



Figura 5. MRP Caso III

Last Planner: El Kanban de la Construcción

Last Planner es una herramienta visual en la cual se puede observar el estatus actual del proyecto. Dicha herramienta se puede colocar en una pizarra, tablón o pared grande en la cual se pudieran visualizar los trabajos diarios que se llevarían a cabo en un determinado lapso de tiempo a futuro y con un lapso más pequeño en el pasado. El Last Planner se debería modificar diariamente dando seguimiento a las actividades a realizar en el día, tachando las actividades ya realizadas, moviendo las actividades que se estima no se realizarán y colocando las limitantes que puede haber para realizar una determinada actividad.

Al ser una herramienta del tipo apoyo visual y dinámica vale la pena explicar cómo era su estructura física y con qué herramientas se elaboraba. Dependiendo de dónde sea la base del tablero es el material con el que debe dividirse el mismo, pero si se opta por ponerlo en un tablón se debería imprimir una lona que ya contara con las divisiones necesarias, en caso de ser un pizarrón el mismo debe ser dividido con el material para el que esté hecho ya fuera plumón o gis y, por último, si se opta por usar un muro se divide con cinta adhesiva, se procura que dicha cinta esté hecha para no lastimar la superficie donde se coloca con el fin de no dañar el muro donde se pegara.

Las actividades, fechas y disciplinas se colocarán con notas adhesivas de colores y tamaños distintos para poder ser distinguidos unos de otros. Se debe optar por las notas adhesivas de tamaño normal para las actividades, las más grandes para las disciplinas y las más pequeñas para las fechas. Se sugiere variar los colores entre disciplinas para poder distinguirlas y hacer más sencillo el seguimiento de la herramienta visual para los interesados.

Otro elemento importante es contar con plumones de colores, esto con la intención de anotar en cada una de las notas adhesivas tanto fechas como actividades y disciplinas. Deben ser de diversos colores porque el color más neutro es para las anotaciones de

actividades, otro color debe ser para las fechas, otro para las disciplinas y otro más para anotar observaciones (de preferencia llamativo).

La metodología sugerida para poner en marcha el Last Planner es empezar armando el tablero como se describió anteriormente de acuerdo a las características del lugar donde se colocará. Lo primero que se debe realizar es colocar las disciplinas a dar seguimiento en la primera columna del tablero, estas se podrán ir modificando con el curso del proyecto. En la primera fila se colocarán las fechas a dar seguimiento buscando que se encuentre el día actual, en vista a futuro mínimo tres semanas adelante y mínimo tres días antes del día actual.

Las actividades serán llenadas en las notas adhesivas y se colocarán en la columna de la disciplina que corresponde y en la fecha que se acuerde para el fin de la misma, lo que implica que en general en esta herramienta se centra en el término de las actividades y pocas veces en el inicio de las mismas. Una vez que la actividad es terminada debe ser tachada y dejada en el tablero los días que se consideren según quien modere el Last Planner, lo anterior con la intención de rastrear cuándo se terminaron actividades y con ello determinar si se pueden realizar las actividades que le prosiguen, además de confirmar si la actividad se terminó completamente y no hubo algún tema de calidad que echara para atrás la terminación de esa actividad. Es válido reprogramar las actividades en dicha herramienta, lo anterior a criterio de quien la regule y si así es funcional para el término del proyecto en la fecha acordada.

La herramienta Last Planner toma su nombre debido a que la última actividad planeada en el horizonte elegido es aquella en la que se va a basar la planeación de las actividades anteriores. Esto implica que esta herramienta, al igual que las anteriormente vistas, usa una planeación de tipo Pull, por lo que en cada actualización diaria se debe revisar la planeación de todo el proyecto en los horizontes propuestos y ajustarla a lo que sería la actualidad del proyecto. En cada una de las actualizaciones de la herramienta se debe marcar con algún color diferente y un número aquella actividad que cuenta con una observación o restricción que pueda impedir la normal realización de la misma; una vez que esto suceda, se debe colocar en un costado del tablero el número de observación, en qué consta la misma y discutir en el momento cómo erradicarla, además acordar si es necesaria la reprogramación de la actividad o no.

Esta herramienta tiene como objetivo hacer un seguimiento puntual de las actividades a realizar, involucrar a todas las personas que tienen que ver con la misma, relacionar las actividades del tren de producción, obtener las restricciones que pueden existir y tener un apoyo visual claro y resumido de la actualidad del proyecto.

Pizarras Infográficas por Nivel Primera Parte: Información General del Nivel

En cada nivel dentro de los proyectos se propone la existencia de una pizarra física grande en algún lugar visible dentro del mismo con la finalidad de mostrar, al corte de la semana anterior de cuando se revisa, cuál es el estatus del nivel sin necesidad de recorrerlo completamente. Dentro del mismo deberían venir datos suficientes que permitan conocer cómo se encuentra el nivel al momento de la revisión, mismos que se proponen en el

presente trabajo, y evitaría dar un recorrido por el nivel si no se considera absolutamente necesario. Además, tener ciertos datos visibles a todas las personas que laboraran en el proyecto y exponiendo sus cumplimientos o incumplimientos podría servir como incentivo o presión moral respectivamente y así poder obtener mejores resultados apelando a un lado más de reconocimiento por el buen trabajo realizado y hacerlo saber frente a quienes participan en el proyecto.

El material de estas pizarras podría ser de tablaroca aprovechando que es muy común que en los proyectos se encuentren diversas hojas de dicho material, el mismo debería pintarse de un color distintivo sin ser llamativo, esto para que capte la atención, pero no deje de tener una presentación formal. Aunado a lo anterior se propone se peguen stickers que le den diseño a la pizarra de acuerdo a lo requerido en el mismo. El material puede cambiarse debido a que la tablaroca tiene sus desventajas, pues es susceptible a ser maltratada debido a que los golpes la podían romper, en caso de mojarse se deshace y al momento de transportarse se podría rayar, eso sin mencionar que el transportarse podría ser muy complicado por las dimensiones y el peso, por lo que se podría optar por probar otros materiales más ligeros como el trovicel, mismo que podría resultar ser más resistente a golpes y mojadadas pero no tan llamativo.

La información general del nivel es lo primero que se debería llenar, y se debe procurar que la misma no sea cambiada nunca. En una esquina se debe colocar el nivel donde se va a encontrar la pizarra en un tamaño grande mas no exagerado o sumamente vistoso, eso con la intención de que el espectador sepa dónde se encuentra y de dónde es la información que está leyendo. En otra esquina se debe colocar un plano donde venga el Lay-Out del nivel donde se vean claramente las zonas y áreas a desarrollar, esto con la intención de ser un apoyo a los recorridos y que los que estén presentes puedan identificar con claridad dónde se encuentra y pueda consultar las áreas existentes que le causen interés, además de poder entender de mejor manera el resto de información expuesta en el tablero respecto a lo visto físicamente.

Pizarras Infográficas por Nivel Segunda Parte: Planes de Producción

Este tablero debería contar con diversos espacios que deben ser actualizados para que el mismo pueda seguir cumpliendo con su objetivo que es informar al receptor sobre el estatus del nivel. Los primeros dos grandes espacios con los que debe contar dicho tablero son para colocar los planes de trabajo de la semana actual y de la semana siguiente, de preferencia en un tamaño de hoja grande (doble carta en adelante). Esta información debe ser sustraída de los WBS recopilados, los cuales ya deben contar con los formatos correspondientes para mostrar esta información de una manera concisa, resumida y presentable.

La información mostrada sobre la semana actual en su primera página debe contar con gráficos de la cantidad de actividades por iniciar, en curso y por terminar correspondientes a cada contratista que laborará esa semana en el nivel para que las mismas entendieran qué tanta influencia tenían en el mismo, además de poderse dar una idea de la fuerza de trabajo que debería existir de las mismas. En la mayor parte de la hoja se debe encontrar

una tabla donde se desglosan dentro de la misma cada una de las actividades que se deben estar realizando en el nivel, la disciplina a la que pertenecen cada una de ellas, la especialidad de las mismas, la contratista que la realiza y estatus en el que se encuentra que puede ser una actividad a iniciar, en curso o a terminar. En ocasiones había muchas actividades a realizarse en el nivel dentro de una semana, por lo que en la primera hoja (asimilada a una portada) se debe encontrar la primera parte del listado y los gráficos anteriormente explicados, en las demás se debería encontrar únicamente el listado de actividades, podría extenderse demasiadas páginas porque en los niveles determinantes seguramente se cargará de actividades.

En el siguiente espacio de la pizarra se sugiere colocar una sección con una estructura similar a la anterior en cuanto a la tabla de datos y gráficos explicados, pero en este caso la tabla proyectaría las actividades a iniciar, realizar y terminar la semana siguiente a la que se hace la revisión. El plan mostrado lógicamente podía verse alterado de una semana a otra debido a aquellas actividades que no se cumplieron de acuerdo al plan existente, a aquellas eliminadas, por las que se agregaron y las que cambiaron su plan debido a una reprogramación. Por último, cabe resaltar que los planes tanto de un listado como del otro la base para la información mostrada deben ser las fechas programación porque son las que muestran los planes más reales a realizar acordado entre las diversas partes concernientes en el proyecto.

Reprogramaciones

A finales de cada mes todos los involucrados, especialmente los líderes, deberían tener derecho a mover las fechas planeadas tanto de inicio como de término de las actividades a realizarse en todo el proyecto. Este movimiento de fechas podía abarcar las actividades hasta el final del proyecto, pero debería estar enfocada principalmente en aquellas que afectarían directamente el mes próximo a cuando se realicen los movimientos planteados en esta sección. El movimiento de las fechas debe ser aprobado por la supervisión o el cliente, mismo que si rechaza las fechas debe estar abierto a negociarlas para que todas las partes se sientan más cómodas.

El volver a programar las fechas programación es el movimiento menos complicado debido a que en el mismo sólo se debe explicar la logística que seguirán las partes para poder lograr la fecha acordada. Se cuestiona cómo lograr los objetivos por nivel, contratista y disciplina para observar si la estrategia tiene coherencia y si en alguna difiere será sencillo encontrarla al cruzar la información recabada. Lo complicado en este tipo de reprogramación es que se tiene que ser muy específico con las actividades para así permitir ver minuciosamente el plan a seguir, por lo que se tiene que hacer un desglose muy detallado.

Mover las fechas acuerdo son aquellas que conllevan menos revisión por parte del cliente o supervisora, pues es realmente un convenio entre el subcontratista y la contratista general, la parte superior no debe entrometerse de más en el mismo siempre y cuando el mismo no se pase de las fechas estipuladas por el cliente para finalizar el proyecto, además de que debe tener una secuencia lógica que no haga perder credibilidad en lo programado y al mismo tiempo en el software que muestra las fechas negociadas. Estas fechas podían

ser modificadas una vez a finales de mes para poder mostrar la programación nueva del nuevo mes y que se guíen con la misma las subcontratistas.

Por último, el movimiento de las fechas pactada debe conllevar un tema delicado debido a que son las fechas pactadas de avance y principalmente de entrega de áreas. Estas fechas no deben ser tan específicas para evitar que se arrojen alertas falsas y para dar más libertad a la contratista general sobre el movimiento de los trabajos y puedan ajustar su logística a lo que suceda en el proyecto. Sin embargo, las fechas de cierre de los trabajos deben ser muy estrictas en su cumplimiento, pues en las mismas se debe trazar el cómo se va a lograr llegar a la fecha estipulada de entrega de áreas y en general de la entrega de todo el proyecto.

A diferencia de los dos tipos de fecha anteriores, la fecha pactada no debe tener un plazo fijo para ser modificado, sino debe verse precedido por algún sesgo claro en el error planeado (indicador presentado posteriormente) que haga necesaria su modificación, dado que el error planeado sea muy alto o bajo implica que el plan seguido ya no es tan útil y debe ser ajustado a la nueva actualidad del proyecto, esto implica modificar las fechas de entrega para hacerla antes en caso que el error planeado fuera menor a cero, o negociar entre todas las partes una fecha final nueva del proyecto en caso de que el error planeado sobrepase la tolerancia. El cambio de esta fecha inclusive debe llevar un proceso legal donde todas las partes se comprometen a llegar a las fechas mencionadas, además de incluir varias revisiones del plan trazado para que todas las partes estén conformes, además de que los mismos deben evaluar las consecuencias de aceptar estos cambios y entender los posibles impactos con los que cuenten en caso de aceptarlos. En resumen, el movimiento las fechas base es un proceso muy delicado y que puede tener varias repercusiones, por lo que debe hacerse con cuidado y debe ser aprobado por muchas partes de todas las organizaciones y empresas involucradas en el desarrollo del proyecto, especialmente el cliente, la supervisora o la contratista general que son los protagonistas en la toma de decisión en el desarrollo del proyecto.

Control de la Producción

Recordando el seguimiento general del proyecto se realiza con las WBS, debemos tener en cuenta que otro objetivo de este software es arrojar alertas con la información que en él contiene y con ellas poder tener un mejor Control de la Producción. Estas alertas son particularmente por cada uno de los proyectos y se debe obtener con la interpretación de un par de indicadores que acumulan toda la información y la sintetiza en un par de números que deben dar una idea del estatus general de los proyectos al momento y también debe generar históricos sobre los mismos para entender cada proyecto en todas sus etapas pasadas.

Desarrollo de la WBS Cuarta Parte: Ponderaciones

Se debe capacitar al personal que aplicará el presente método planteado, especialmente a los líderes del proyecto, de tal forma que conozcan los criterios, convencerlos de la funcionalidad de manejarlo de determinada forma y quien proponga debe tener total apertura a observaciones para homologar criterios con los que todos los involucrados se sientan cómodos.

La ponderación se da por cada una de las actividades desglosadas en la WBS con la intención de que representen un avance numérico-porcentual en el proyecto. Además, como se verá posteriormente, estas ponderaciones terminan teniendo como fin medir el estatus del proyecto y teniendo en cuenta lo anterior, se puede convertir en una cuestión legal para medición del desempeño del proyecto en general o de sus involucrados de manera particular, por lo que es importante que ambas partes estén cómodas con lo que se pondera.

En general se proponen cuatro criterios a ser ponderados para dar valor a las actividades que son: Importancia en Costo, Dificultad de Suministro, Dificultad de Mano de Obra y Clase de Actividad.

Desarrollo de la WBS Quinta Parte: Importancia en Costo

Para la Importancia en Costo se proponen tres niveles, en este caso se deben dejar a un lado los criterios propios no homologados de cada persona y se deben proponer rangos de costos fijos para asignar un nivel de Importancia en Costo, dichos rangos deben ser establecidos de acuerdo a lo que se propone a continuación que tiene un fundamento teórico basado en una metodología estadística y ayuda a clasificar de acuerdo a rangos de frecuencia.

Por cuestiones de generalidad en el presente trabajo y para que sea adaptable a cualquier proyecto no se darán cifras exactas, sin embargo, para la explicación requerida en este trabajo se establecerá la siguiente condición $\{Y < Z\}$, siendo $\{X, Y, Z\}$ números que representan costos positivos}. Teniendo en cuenta lo anterior se establece que para asignar un "1" para esta ponderación se debe tener el costo (X) que debe encontrarse en el siguiente rango: $\{0 < X \leq Y\}$. Para ser considerado en el rango de nivel "2" el costo (X) debía estar en el siguiente rango: $\{Y < X \leq Z\}$. En el nivel más alto que es el "3", el costo (X) debería estar en el rango $\{Z < X\}$.

El criterio para establecer dichos rangos se basa en analizar la moda estadística que los costos que pueden mostrar algunas WBS que se seleccionen aleatoriamente aplicando el Principio de Pareto para dichas muestras. Siguiendo el principio de 80/20, el cual debe ser aplicado a las muestras, dado lo que se considere para el nivel "1" será el 80% de las actividades con el costo más bajo en un rango muy similar al muestreado, pero para dejar en una cifra que sea fácil de recordar y no causar conflictos se debe optar por hacer un redondeo hacia abajo a algún número que sea fácil de recordar, de preferencia que sea una cifra con puros ceros detrás, es decir múltiplo de 10, en el cual sólo varíe el primer número y así sea más apegado.

Una vez que se tenga el 20% de actividades que no entran en el nivel "1", se debe realizar el mismo ejercicio ahora con esas actividades ya seccionadas, es decir a ese 20% previamente seleccionado de la muestra completa se le calcula otro 20%. El 80% de esa nueva fracción es a la que le correspondería el nivel "2", aplicando la misma lógica de redondeo anterior.

Finalmente, se puede inferir que esa fracción de 20% del 20% es la que corresponde al nivel "3", por lo que es un tanto difícil llegar a ese nivel, pero si se llega es porque es una actividad con mucho costo que requiere mucha atención.

El por qué se usó el Principio de Pareto es debido a que es una herramienta que ayuda a entender las causas de ciertos efectos, por lo que vale la pena centrarse en dichas causas principales que ocasionan las reacciones más observables. Lo anterior hace que nos dejemos de enfocar en elementos que no son tan relevantes y nos concentremos en los que son más importantes; después centrarse en esas más importantes y posteriormente fragmentar de nuevo para obtener la muestra con mayor jerarquía de relevancia. Se puede resumir como que tratamos de seccionar lo más caro, suponiendo que esas actividades de mayor costo son aquellas que pueden generar más avance o brindar más herramientas y su omisión puede traer grandes problemas al proyecto.

Koch (2013) menciona sobre el Principio de Pareto: “Consiste en que, si divides el mundo en causas y resultados, pocas causas (cerca del 20%) generan la mayoría de resultados (cerca del 80%). Por tanto, pocas personas son responsables de la mayor parte del progreso humano (y también de los resultados humanos). Unos cuantos conductores causan la mayoría de accidentes. Pocos gerentes determinan el éxito o fracaso de una compañía.”

En la Figura 6 se muestra gráficamente el funcionamiento del principio de Pareto aplicado dos veces para asignar las ponderaciones definitivas entendiendo que los porcentajes más grandes (los 80%) corresponden a los costos menores, mientras los porcentajes más pequeños (los 20%) representan los costos más altos:

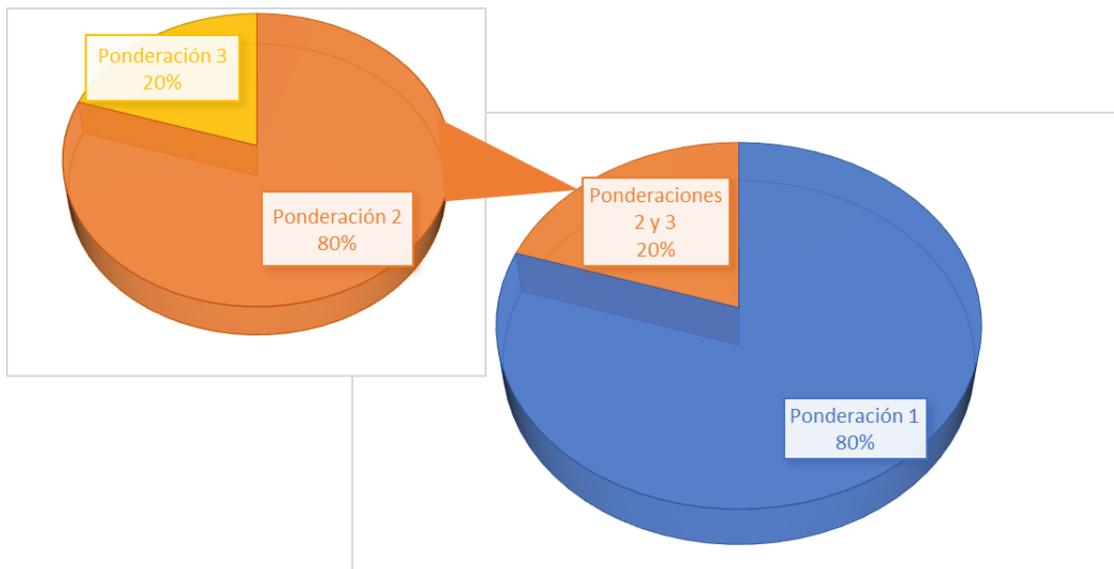


Figura 6. Explicación gráfica de la aplicación del Principio de Pareto en la Importancia de Costo.

De la siguiente forma gráfica se representa igual lo seccionado que están las actividades según su costo y dentro del mismo gráfico de puede notar lo importante que se vuelven esas actividades según la Teoría de Pareto al ser pocas, pero seguramente muy determinantes, por eso se vuelven tan selectivas y se denota su jerarquía al ser una fracción tan pequeña.

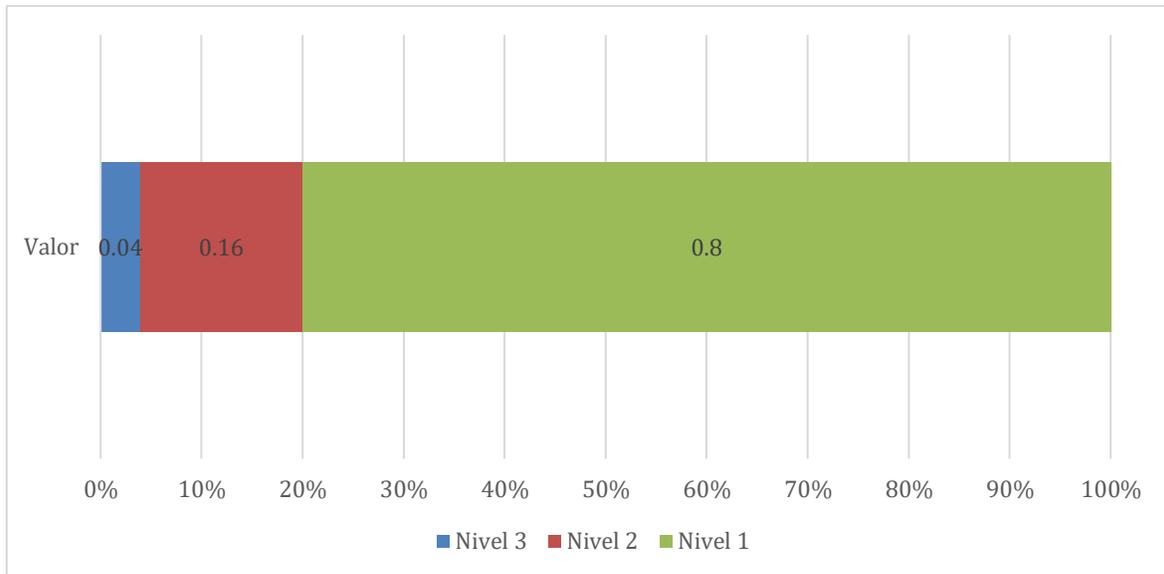


Figura 7. Representación gráfica de los porcentajes correspondientes a los niveles de importancia de costo.

Desarrollo de la WBS Sexta Parte: Dificultad de Suministro

Este es el segundo elemento a ser ponderado, es importante debido a que se debe conocer qué tan complicado es conseguir el material, equipo o elemento a ser instalado porque nos ayuda a entender los riesgos que pueden existir si algún elemento no es suministrado. Otra manera de verlo es que en muchas ocasiones es más complicado el hecho de conseguir lo que se va a instalar que el mismo proceso de instalación. Lo anterior no implica necesariamente que el suministro sea complicado por el precio, pues esto se evaluó en el criterio anterior, lo que aquí se evalúa es qué tan complicado puede ser el hecho de encontrarlo y adquirirlo para poder contar con el material o equipo deseado, pues si tiene restricciones, en pocos lugares se vende, conlleva varios transportes o necesita trámites especiales por cualquiera de las partes puede hacer muy complicado el hecho de que llegue a sitio algún material y esto debe ser medido por el riesgo que puede conllevar.

Que algo conlleve riesgo al ser suministrado implica que debe tener mayor ponderación en la actividad que se relacione porque el simple hecho de la llegada ya es un logro, también entender lo complejo de almacenar dicho material, por otro lado se debe ser cuidadoso al momento de instalarse porque en caso de algún daño ya se conoce la complejidad de suministrarlo nuevamente.

Este criterio, igual que el anterior, tiene tres niveles para asignar la dificultad de suministrar algún material. La diferencia a la anterior complejidad es que es complicado establecer un método numérico concreto para evaluar este rubro, por lo que se ha decidido dejar un criterio más propio, sin embargo se han propuesto elementos a ser tomados en cuenta para realizar la evaluación. Dichos criterios se pretenden sean más tangibles, sin embargo, al no haber un método numérico concreto para ser utilizado, en ocasiones se puede tender a cometer errores, incongruencias o disputas al momento de evaluar entre las partes y de asignar dicha dificultad. En este aspecto se opta por mejor proponer criterios de tipo local, nacional o internacional para ser evaluado o que dependieran de los tipos de filtros o

permisos por los que deba pasar el material para poder llegar al proyecto donde será utilizado.

Para ser evaluado con una complejidad de suministro “1”, el material a trabajar debe ser fácil de conseguir. Comúnmente se debe tratar de algo que se pueda salir a comprar y que llegue ese mismo día o a más tardar el siguiente. Al mismo tiempo, será algo para lo que no se necesiten permisos o gestiones especiales. También es algo que puede ser transportado de una manera no tan complicada y que no es tan difícil de manipular en cuanto a transporte dentro del proyecto. Puede ser muy común este tipo de evaluación porque hay muchos elementos fáciles de conseguir en tiendas de construcción, materiales, pintura o cerámicos.

En caso de ser considerado como una complejidad de suministro “2”, el material debe presentar una cierta complicación para ser conseguido. Se sugiere para aquellos materiales que puedan ser conseguidos nacionalmente y en ciertos casos internacionalmente siempre y cuando sea un país con el que se comparta frontera y haya tratados que faciliten el flujo de materiales de un país a otro. Son materiales que de preferencia tengan un tiempo de entrega menor a un mes. Además, deben ser materiales que en caso conllevar alguna clase de trámite internacional, este debe ser sencillo y de preferencia que no sean llevados a cabo por el cliente o la supervisión directamente. En caso de ser nacional el suministro de los materiales, que no debe conllevar más de tres transportes distintos para llegar a sitio. En cuanto a la manipulación dentro del proyecto, estos materiales pueden o no ser fácilmente, con lo que nos referimos a que puede necesitar o no ayuda de algún elemento como grúa, montacargas, palet, etc. para ser transportado dentro de las instalaciones a las que fue suministrado el material.

Por último, si se considera una complejidad de suministro “3” el material debe ser complicado en cualquier etapa del suministro. Son aquellos artículos que provengan internacionalmente y tengan un tiempo de entrega mayor a un mes. Son aquellos que conllevan trámites internacionales no tan sencillos. Esta clase de materiales debe tener más tres o más transportes distintos para llegar a sitio. Además, su manipulación dentro del proyecto debe realizarse con ayuda de algún elemento adicional porque son pesados o voluminosos.

Para definir a que dificultad de suministro se pueden cumplir con uno o más requerimientos de los anteriormente mencionados y variar entre más de un tipo de complejidad, por lo que se debe optar por seleccionar aquella con la que cumplan con más rubros. En caso de no poderse decantar por una sola complejidad debido a que no es claro a cuál de las dos pertenece, se debe optar por la de mayor valor, debido a que es preferible tener una mayor alerta por una actividad a que la misma sea menospreciada y que después resulte tener un alto impacto.

A continuación se coloca una tabla donde se ejemplifica y resume lo anteriormente descrito para un mejor entendimiento:

Ponderación	Dónde se encuentra	Tiempo de llegada	Transportes a sitio	Manipulación en sitio	Documentación
1	Cercano al sitio	Menos de 48 horas	Un sólo medio de transporte	No compleja. Inclusive a mano	No debe conllevar ninguna
2	Algún lugar dentro del país o fronteras próximas	Menos de 30 días	Tres medios de transporte distintos	Puede o no ser manipulado con alguna herramienta de carga-descarga	Puede conllevar alguna documentación o trámite internacional, pero sencillo
3	Internacionalmente	Más de 30 días	Tres o más medios de transporte distintos	Forzosamente debe ser manipulado con alguna herramienta de carga-descarga	Debe conllevar y no suelen ser sencillos

Figura 8. Tabla resumen de dificultades de suministro.

Desarrollo de la WBS Séptima Parte: Dificultad de Mano de Obra

Es el tercer punto que nos ayuda a ponderar cada una de las actividades. En este punto se hace referencia a qué tan especializado debe ser el personal que realice alguna actividad. Evaluar esto nos ayuda a entender qué tan complejo es conseguir a alguien que realice la actividad deseada, además, nos habla de cuán delicada puede ser la actividad en su realización. Además, cuando la actividad ya haya sido realizada nos da el panorama de cuán complicado es lo que ya se realizó. Por otro lado, nos habla de la complejidad del proceso, pues mientras más especializada sea la mano de obra nos refiere a que necesitan cierta preparación o experiencia en quien o quienes realicen la actividad. Al igual que las otras dos ponderaciones anteriores, la Dificultad de Mano de Obra cuenta con tres niveles distintos para ser medido, además cabe la pena mencionar que cada actividad realizada debe tener su propia Dificultad de Mano de Obra.

Para la Dificultad de Mano de Obra “1” la actividad a la que se le asigna dicho valor es aquella que puede ser realizada por básicamente cualquier persona sin muchos conocimientos o experiencia previa de la actividad a realizar, pues no requiere una mano de obra especializada. En palabras simples, uno puede salir a la calle y conseguir con facilidad alguien que realice la actividad. Es la complejidad que se considera será la más común porque es un tanto raro que en la construcción se hagan actividades muy especializadas en su realización, lo anterior debido a que es muy común tener actividades repetitivas dentro del proyecto y dichas actividades si fueran realizadas por una mano de obra muy especializada sería muy cara, además que no darían la importancia a actividades más difíciles de realizar que tendrían complejidades superiores.

En el nivel “2” de la Complejidad de Mano de Obra deben estar aquellas actividades que necesiten una mano de obra más especializada sin ser algo totalmente profesional o con preparación académica previa. Se podría decir que son actividades para las que se tiene que encontrar a una persona que tenga experiencia comprobable haciendo la actividad deseada con la intención de saber que puede ser realizada con el menor riesgo posible, sin embargo no debe ser alguien certificado o con preparación académica específica necesaria para la actividad. Son actividades complicadas en su realización mas no complejas en su comprensión para el operador como puede ser la colocación de algún acabado especial, la realización de alguna actividad en alturas que conlleve riesgo, la conexión de equipos que pueda conllevar riesgos para el mismo o para la persona que lo realiza, etc.

Por último, la Dificultad de Mano de Obra nivel “3” es para las actividades que necesariamente deben ser realizada por una mano de obra especializada y hasta con sustento profesional o académico. Son aquellas actividades realizadas por una persona que debe tener algún título, licencia, permiso o certificación por el nivel de delicadeza o sofisticación que tiene la actividad a ser realizada. Son actividades no tan comunes de encontrar, pero que es muy importante su realización porque normalmente son actividades que implican una puesta en marcha importante para el proyecto.

La lógica en caso de alguna decisión dividida es la misma que con la Dificultad de Suministro, pues se debe decantar por aquella ponderación con la que cumpla más rubros, sin embargo, en caso de no ser clara una elección de ponderación se debe ir igual por la más alta por la misma lógica anteriormente expuesta que se resume en preferible arrojar una alerta baja a recibir un impacto mayor a lo estimado.

Ponderación	Conocimientos	Experiencia	Repetitividad	Riesgos
1	Sin certificaciones	No muy necesaria	Muy común	Casi nulos
2	Certificaciones deseables	Deseable	Algo común	Muy controlados
3	Certificaciones obligatorias	Obligatoria	Poco común	Altos

Figura 9. Tabla resumen de dificultades de mano de obra.

Desarrollo de la WBS Octava Parte: Clase de Actividad

La Clase de Actividad se clasifica en cuatro niveles, dichos niveles se clasificarán asignándoles una cifra siendo “1” la más sencilla y “4” la más complicada. Por tipo de actividad se hace referencia particularmente al impacto que tiene dicha actividad en el proyecto, en otras palabras, cómo influye la realización o no de la misma, las afectaciones o beneficios que pueden traer.

El nivel “1” de estas actividades debería estar reservado para aquellas actividades cuya realización o fracaso no afectaran de gran manera al desarrollo general del proyecto. En si están reservadas a aquellas actividades que son requerimientos generales o pago a personal no operativo.

El nivel “2” correspondería a aquellas actividades que sí se ven reflejadas directamente en el desarrollo del proyecto, pero cuyo impacto no es muy grande, pues son aquellas

actividades de cierre del tren de producción, es decir que detrás de ellas ya no existen más actividades que den algún cambio físico al proyecto. Por otro lado, este mismo nivel se optó para ser ocupado también para aquellas actividades que fueran de suministro de materiales, pues estas al influir directamente en el tren de producción sí se deben reflejar en la WBS, pero al no tratarse de la instalación directa o alguna actividad que influya en un cambio físico en el proyecto puede considerarse como una actividad no muy relevante, porque el suministro se puede tener, pero si no se hace algo con el material o equipo suministrado pues sencillamente no pasará nada con impacto funcional a la edificación. Por último, este nivel es usado para aquellas actividades que impliquen una limpieza temporal o final (para entrega de área), así como retiro de escombros o desperdicios, porque estas son necesarias, pero no son permanentes.

Las actividades de nivel “3” son las que deberían ser más comunes, pues ese nivel era asignado para aquellas que ligaban unas actividades con otras. Son actividades visibles en el proyecto y que abren tramo para algunas actividades después de las mismas. Que dichas actividades se lleven o no a cabo sí afectan al proyecto, aunque puede haber manera de compensarlas. Deben ser actividades de transformación o instalación de materiales, comúnmente aquellas actividades que entran en el tren de producción iterativo que va nivel a nivel y no son actividades de cierre, de limpieza o de entrega de áreas porque esas corresponden al nivel anterior.

El último nivel, el cual es el “4” está destinado para las actividades más importantes en el desarrollo del proyecto, entendiendo esto como aquellas que abren tramo a más actividades. La realización o no de estas actividades afectarían gravemente el avance del proyecto porque se podrían o no realizar varios trabajos debido a la actividad que recibió esta ponderación. Esta ponderación puede aplicar al tren de producción de actividades iterativas que se realizan en cada nivel, pero también aplicar, si así se consideraba, a aquellas actividades que se realizarían pocas o solamente una vez. Otra manera de entenderlo es que estas actividades son las que comúnmente ayudan a darle más funcionalidad al edificio o ayudan a que se vea con más forma.

Ponderación	Afectación en Tren de Producción	Cambio Físico en el Proyecto	Permanencia en el Proyecto	Actividad Repetitiva
1	Prácticamente nula	Muy poco visible	Comúnmente duradera	La mayoría de ocasiones
2	La mayoría daban por concluido el tren de producción	Visibles físicamente	Permanente o poco duradera según el caso	Sobre todo al final de algún ciclo de producción
3	Importantes porque ligan actividades	Visibles o perceptibles	Permanente con posibilidades de cambio	Muy comúnmente repetitivas
4	Determinantes	Sumamente visibles o perceptibles	Permanente con muy pocas posibilidades de cambio	Poco repetitivas

Figura 10. Tabla resumen de clase de actividad..

Valor Ponderado de una Actividad

Como vimos al principio del capítulo anterior las disciplinas son el primer criterio para ponderar una actividad, pues recordemos que dependiendo de la disciplina seleccionada la actividad empezará a tener un valor, pues mientras más valor tenga la disciplina mayor será la base de su valor porcentual.

Una vez que se seleccione la disciplina que corresponda, se procede a llenar las ponderaciones anteriormente descritas. Posterior a asignar las ponderaciones se procede a calcular qué valor tendrá cada actividad. A continuación se da la fórmula y un ejemplo sobre el valor de cada actividad:

La fórmula para asignar valor es multiplicar el valor natural numérico de la Importación de Costo (A) por la Dificultad de Suministro (B) y a la vez Dificultad de Mano de Obra (C), el producto de esto se multiplicará por el Tipo de Actividad (D) y dará como resultado un número R.

Lucirá de la siguiente forma:

$$(A)(B)(C)(D) = R \dots \text{Fórmula de Ponderación}$$

La fórmula será aplicada la cantidad de veces necesarias y que se repita la disciplina en las actividades dentro del proyecto, lo cual depende de las veces que se considere que la disciplina se adapta a la actividad a realizar desglosada en la WBS como se describe en la sección. Se sumarán todas las ponderaciones obtenidas y el resultado se dividirá cada una de las ponderaciones para que den racionales porcentuales que al final sumen un 100%. Cada uno de los resultados calculados con base en las ponderaciones seleccionadas será multiplicado por el valor porcentual de la disciplina correspondiente en el proyecto. A continuación se muestra un ejemplo de cómo funcionaría matemáticamente la ponderación final de las actividades tomando en cuenta todos los factores y cálculos anteriormente mencionados.

$$\text{Ponderación Actividad 1} = A_1 * B_1 * C_1 * D_1 = R_1$$

$$\text{Ponderación Actividad 2} = A_2 * B_2 * C_2 * D_2 = R_2$$

$$\text{Ponderación Actividad 3} = A_3 * B_3 * C_3 * D_3 = R_3$$

⋮

$$\text{Ponderación Actividad } n = A_n * B_n * C_n * D_n = R_i$$

$$\sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = S \dots \text{Suma de Ponderaciones}$$

Suponiendo que el valor porcentual de la disciplina asignada a las actividades en el proyecto es $T\%$:

$$\begin{aligned} \text{Valor Porcentual de la Actividad 1 en el Proyecto} &= \left(\frac{R_1}{S}\right)T\% \\ &= U_1\% \text{ Valor Porcentual de la Actividad 2 en el Proyecto} = \left(\frac{R_2}{S}\right)T\% \\ &= U_2\% \text{ Valor Porcentual de la Actividad 3 en el Proyecto} = \left(\frac{R_3}{S}\right)T\% \\ &= U_3\% \text{ ; Valor Porcentual de la Actividad } n \text{ en el Proyecto} = \left(\frac{R_n}{S}\right)T\% \\ &= U_n\% \end{aligned}$$

Para todo:

$$\sum_{i=1}^n U_i\% = U_1\% + U_2\% + U_3\% + \dots + U_n = T\%$$

Lo anteriormente expuesto nos demuestra que la suma de todos los valores porcentuales de las actividades asignadas a una misma disciplina debe sumar el valor porcentual de dicha disciplina dentro del proyecto. Igual vale la pena resaltar que la fórmula de la ponderación de cada actividad es una propuesta realizada por el autor del presente trabajo, por ello es tan sencilla la fórmula y que no necesariamente tiene una base matemática o sustento ya sea tangible o comprobable que ayude a comprobar que es una fórmula que se rige por una ley, sin embargo confío en el desarrollo dada la experiencia que se plantea en el modelo por el cual se pudo constatar con la práctica en la Industria de la Construcción en donde tuve una experiencia laboral de XXX años.

Por último, vale la pena destacar que una desventaja que se prevé pueda presentar esta propuesta de ponderar es que cada vez que se seleccione nuevamente una disciplina previamente usada, las ponderaciones se muevan y pueden valer menos, por lo que se podrían alterar las cifras calculadas con anterioridad. Lo anterior podría pasar porque no se tendría un número establecido de actividades por disciplina y cada que se agreguen nuevas actividades la cifra de ponderaciones sumadas se alterará provocando que a su vez los porcentajes se modifiquen porque al cambiar los valores base todos los porcentajes varían. Se procura cerrar las actividades en una sola entrega por disciplina para evitar estas discrepancias, sin embargo difícilmente pasará porque es común la existencia de cambios. En el caso de que en lugar de agregarse actividades se eliminen algunas existentes la

alteración seguirá existiendo, sólo que la alteración provocará que las actividades tengan un mayor valor porcentual al haber menos actividades que valorar.

¿Cómo se mide el Avance Planeado?

El ponderar una actividad tiene como finalidad general entender qué tanto avance porcentual debería tener el proyecto y cuál es el avance real con el que cuenta. Recordemos que contamos con tres tipos de fechas las cuales, en resumen, sirven para medir respecto a distintos criterios cómo va avanzando el proyecto. Existen tres tipos de avances planeados, uno por cada tipo de fecha existente:

- Avance Planeado Programación: Es aquel avance planeado a la fecha de revisión de las actividades que deberían estar hechas según el último acuerdo de programación entre todos los involucrados. Este avance debe ser estrictamente cuestionado, pues en caso de tener algún retraso pueden haber consecuencias graves debido a que, en teoría, es el programa con el que se maneja el proyecto en general y en él se ven las alertas más reales en el proyecto, aunque puede estar la situación de que lo manejen muy estricto con el afán de presionar a las subcontratistas y las alertas no sean tan reales, pero este acuerdo debe conocerlo el cliente.
- Avance Planeado Acuerdo: Es el avance planteado a la subcontratista acordado entre la Contratista general, supervisora o cliente con la finalidad de que en su interna ellos sepan cómo deberían ir avanzando de acuerdo a su plan particular y acorde al proyecto en general.
- Avance Planeado Pactado: Las fechas pactadas son aquellas acordadas entre todas las partes superiores y responsables del proyecto y que tienen sustento legal. Es natural que se quiera medir el rendimiento en el proyecto respecto a estas fechas base debido a que son aquellas comprometidas para conseguir cerrar el proyecto como se planeaba. Este avance se va midiendo conforme va pasando el tiempo y las actividades que se estipularon se debieron terminar de acuerdo al plan para ese momento. Es en sí el avance que más puede hablar sobre las alertas del proyecto porque se veía en él qué tan adelantados o atrasados se va en el mismo según lo que se consideró un plan pertinente con el que se consiguió un acuerdo entre las partes anteriormente mencionadas.

Para aclarar se mencionará que la medición del avance es la suma de los valores porcentuales de las actividades que ya se deberían de haber realizado al día de la revisión. Esos valores porcentuales son los calculados con las ponderaciones que tanto se han mencionado en el presente trabajo. Lo que se plantea es que las actividades se terminen en su totalidad, como vimos anteriormente hay actividades que pueden partirse para entregarse en etapas por lo que una etapa se dará por terminada cuando ya esté totalmente terminada.

¿Cómo se mide el Avance Real?

Como funciona esta parte es realizando el seguimiento por medio de las WBS, mismo que se debe realizar en un corte semanal en el cual se muestran las actividades que se deben realizar por subcontratista en el transcurso de la semana siguiente al cierre. Cada subcontratista debe contar con una persona que vaya haciendo el seguimiento junto con el responsable general del método para que le permita ir determinando qué actividad ya se ha

concluido, según su criterio, misma que debe ser aprobada por el responsable general de la presente propuesta de trabajo para ser tomada en cuenta como el avance real en el proyecto. En su defecto, previo al próximo cierre semanal la subcontratista debe marcar como no terminadas las actividades asignándoles una causa de incumplimiento y siendo de esta forma llevada a la planeación de la siguiente semana y así hasta que la misma sea marcada acordada su terminación por todos.

Por otro lado, si se considera que la actividad no está totalmente terminada se opta por rechazar la actividad colocando el motivo de rechazo y regresando así a lo que la subcontratista determinará, según lo expuesto por el responsable de llevar a cabo la presente propuesta, si revira la decisión colocando de nuevo la actividad como terminada o le coloca una causa de incumplimiento, ese acuerdo tiene que realizarse entre la subcontratista y quien lidere.

Cada que una actividad sea marcada como finalizada el valor de dicha actividad se sumaba a un total de todas las actividades terminadas, la suma de todas las actividades marcadas como terminadas por todas las partes es lo que se consideraría como el avance real del proyecto. Este avance será muy estricto porque no toma en cuenta avances medios o actividades simplemente iniciadas, sino se convierte en un indicador que medía únicamente actividades terminadas en su totalidad lo cual lo hace muy duro en su medición, pero deja a un lado criterios de avance de actividades al dejarla únicamente como actividades terminadas en su totalidad. Dicho indicador tiene que ser medido constantemente con los otros avances planeados para ver el estatus del proyecto de acuerdo a los criterios que el analista quisiera tener.

Sesgo en Tiempo

Este es un indicador propuesto por el autor del presente trabajo, ya que se identificó una necesidad de tener una forma medible para comparar los avances planeados contra el avance real para conocer el estatus del proyecto respecto a lo que se tenía planeado originalmente. A pesar de ser un indicador medible con los tres tipos de fechas existentes, el sesgo que debe regir más estrictamente a los proyectos será la medida contra las fechas pactadas, y que deberían estar firmadas por los líderes del proyecto, particularmente de cliente, supervisora o contratista general que deben marcar claramente los objetivos generales y cuándo se deben realizar para conseguir la fecha término objetivo que satisfaga a todas las partes.

Una vez que se contaban con los valores de los avances planeados y del real se procedía a hacer el cálculo de la desviación, la cual tiene como base la fórmula del error porcentual práctico, misma fórmula que explicaremos su adaptación a las necesidades aquí presentadas. La decisión de basarse en esta fórmula se debió a que en la misma se compara un valor ideal que no toma en cuenta factores externos, con uno real que se ve afectado por los mismos. La interpretación del sesgo calculado en el momento es que el tiempo de atraso que presenta el proyecto en días es el porcentaje calculado respecto a los días planeados restantes del proyecto, con lo que se puede hacer a una idea del atraso presentado al calcular los días de retraso con el sesgo obtenido y se puede proyectar una fecha de término sumando dichos días a la fecha término proyectada en programa como se mostrará posteriormente con ejemplos matemáticos, cabe resaltar que no necesariamente

es un dato de retraso exacto o que se puede considerar como una realidad, pero sirve para darse una idea.

A continuación se enuncia la fórmula usada para calcular el sesgo en los proyectos junto con sus variables:

$$P = \text{Avance Planeado}$$

$$R = \text{Avance Real}$$

$$S = \text{Sesgo} = \frac{P - R}{P}$$

A continuación se mencionan los rangos de riesgo y posteriormente será explicado porque se escogió el mismo junto con una explicación de lo que implica que la desviación calculada se encuentre en dicho rango:

- $S < 0$: Esta situación tan particular se piensa que será muy complicada de ver, pues implica que el avance real era mayor al avance planeado. Como puede interpretarse lo anteriormente enunciado en resumidas cuentas es que el proyecto va adelantado a lo planeado. Se considera complicado de ver porque no es común tener un ritmo tan bueno que inclusive permitiera observar un adelanto en las actividades, además que muy seguramente no se cuenta con los distintos recursos necesarios para adelantar las actividades según lo planeado. A pesar de lo anteriormente mencionado sí puede llegar a suceder este hecho y es muy presumible debido a la rareza del mismo y la interpretación tan beneficiosa que el mismo tenga para el proyecto, además de permitir más libertades. No todo puede ser positivo porque se puede caer en el desperdicio de sobreproducción, además de quizá retrabajarse al realizar elementos para los que no se estaba preparado para hacer.
- $S = 0$: Podría ser un caso muy extraño porque implica que el proyecto va exactamente a lo planeado, que no tiene ni atrasos ni adelantos. Se considera algo raro porque no es nada común que un plan en general salga linealmente, sin ningún imprevisto, y menos en un proyecto de construcción que depende de muchos factores. Por otro lado, podría ser hasta más común que se adelante el proyecto al tener una planeación quizá laxa o porque fluyeron de mejor forma los procesos. Si esta situación llegara a pasar implica algo muy presumible porque significa que la planeación fue perfecta y que se tomaron en cuenta todos los factores externos o que no influyó nada.
 -
 - : Es el rango aceptable en el que se puede encontrar el sesgo calculado. El escoger dicho rango es debido a que es el intervalo de confianza seleccionado para este servicio y aceptable en el mismo. Puede parecer un rango amplio, sin embargo se considera que al ponerlo a prueba se puede volver en un rango justo debido a que es un indicador muy sensible y es fácil llegar a niveles altos de desconfianza. Si el indicador se encuentra en este rango implica que el proyecto no se puede considerar en tanto en riesgo, pero que tampoco está bien, pues ya presenta un desfase al plan y es necesario ir presentando alternativas para recuperar ese pequeño desfase. Naturalmente, a pesar de estar en el rango, mientras más

grande sea la desviación más preocupante es, y si se ve que el mismo sale del rango, por el simple hecho de valer más, deben preverse planes de recuperación más agresivos para evitar salir a un rango mayor, aunque si es menor sucederá lo contrario si así se considera.

- *10<D*: Cuando el sesgo es superior al rango aquí mostrado es un hecho sumamente preocupante porque implica que el proyecto ya tiene un atraso muy grande respecto al plan regente. Al momento de encontrarse en este rango es necesario acordar un plan de recuperación que permita mantener estable el proyecto. Obviamente mientras más grande sea el número de sesgo calculado, más agresivo debe ser el plan de recuperación. Teniendo en cuenta que encontrarse en este rango puede tener inclusive repercusiones legales, si así lo desea quien ponga en práctica la presente propuesta de trabajo, es delicado encontrarse aquí y se debe encontrar una solución pronta para evitar disputas más fuertes entre las partes y dar flujo productivo al proyecto.

El corte de este sesgo debe ser semanal, por lo que las conclusiones anteriores serán revisadas con cotidianeidad y eso asegurará que las decisiones basadas en los criterios anteriormente explicados fueran oportunas y no tuvieran un impacto tan negativo en el proyecto a revisar. Un cambio drástico repentino en el valor del sesgo podría ser símbolo de una revisión a fondo del cambio observado y entender su causa raíz para atenderla de inmediato o entenderla mejor para aplicar la mejora observada posteriormente en el mismo o en los otros proyectos. Cabe resaltar que estos valores pueden tener consecuencias legales en caso de estar en el rango no deseado después de un determinado tiempo, por lo que tienen una importancia muy alta para todos los involucrados y se debe tener certeza total de lo medido.

El sesgo se propone como el principal indicador para poder controlar la producción porque compila mucho de lo anteriormente visto para poder ser interpretado sencillamente como qué tanto atraso, adelanto o estabilidad tiene el proyecto respecto al tiempo. El tiempo se convierte en un factor determinante porque es necesario cumplir los plazos estipulados para no caer en sobrecostos o pérdidas por no tener el producto terminado completamente. A pesar de no contar con muchos indicadores, este se convierte en el principal por lo completo que es en su conformación.

Productividad Respecto al Tiempo

Sabry (2024) define la productividad como "...la eficiencia con la que se producen los bienes o servicios, medida por alguna métrica. Las mediciones de la productividad se expresan con frecuencia como una relación entre una producción agregada y un solo insumo o un insumo agregado utilizado en un proceso de producción, es decir, la producción por unidad de insumo, generalmente durante un período de tiempo determinado"

Como menciona Sabry, la productividad es en resumen la capacidad de realizar bienes o servicios respecto a los recursos que se tienen. En este caso, al ser medidos todos los trabajos en un mismo indicador es difícil asignar un recurso físico en común, además que se considera no útil hacerlo de esa manera. Sabiendo lo anterior se optó por usar un recurso

que todos comparten y que es determinante para la efectividad y rentabilidad del proyecto que es el tiempo.

El tiempo ha sido seleccionado como recurso porque, a pesar de que en otros archivos se pueden conocer montos monetarios, materiales ocupados o personal utilizado, el tiempo se convierte en el insumo central porque inclusive se cuentan con tres tipos de programaciones para poder medir en distintas circunstancias lo sucedido en los proyectos. Ahora, determinando el tiempo como insumo principal y explicando el porqué es así, se debe definir cuál es el bien realizado en ese tiempo, en este caso será tan sencillo como la cantidad de actividades que se hacen en el tiempo asignado. La decisión de tomar las actividades se debe a que con la programación pactada dentro de la misma se establece un periodo de tiempo en el cual se deben conseguir determinados hitos, la forma de llegar a esos hitos es con la realización de actividades que nos permitan acercarnos a ellos con la terminación de las mismas, por lo que determinar cuántas actividades se cumplieron y se acercan a cumplir hitos o definitivamente los alcanzan se vuelve muy importante para determinar qué tan productivo fue un lapso de tiempo en el que se debieron realizar ciertas actividades para acercarse a los hitos intermedios o finales.

Para la productividad semanal se toman en cuenta las actividades programadas para la semana en la que se hace la medición y se deben sumar las actividades que presentan retraso hasta ese momento, esto debido a que son actividades que deberían ser terminadas para probablemente abrir tramo para nuevas actividades o para dar conclusión a trenes de producción. Con esto se pretende expresar+ que la fórmula es en general la cantidad de actividades realizadas en un determinado periodo de tiempo (recomendado una semana para mantener la medición del sesgo) entre la suma de las actividades planeadas a terminarse en el tiempo asignado más las actividades que presentan retraso en ese momento. A continuación se muestra la fórmula de una manera clara y se demuestra la sencillez de la misma:

$$\textit{Productividad Semanal} = PS$$

$$\textit{Actividades Terminadas en la Semana Actual} = T$$

$$\textit{Actividades por Terminar en esta Semana} = PT$$

$$\textit{Actividades No Terminadas en Semanas Anteriores} = NT$$

$$PS\% = \left(\frac{T}{PT + NT} \right) * 100\%$$

Este es, junto con el sesgo en tiempo, son indicadores propuestos que si son llevados a cabo de manera correcta pueden ser importantes a tomar en cuenta para conocer la situación del proyecto en el momento. Tiene un poco menos de relevancia porque no es un indicador tan analítico y específico como el sesgo, pues supone que todas las actividades tienen la misma importancia y relevancia, sin embargo sí se considera un buen parámetro porque se puede observar qué tanto se avanza en actividades generales dentro del

proyecto y así poder hacerse una idea del porqué la situación dentro del proyecto es como se presenta.

La productividad sólo presenta dos rangos sugeridos basados en el Principio de Pareto, mismos que definen qué tan preciso debe ser un plan de recuperación e inclusive que el mismo no exista si no se considera necesario dado lo calculado:

- $PS\% \geq 80\%$: Hay poco o nada que revisar, ya que se considera tener una productividad óptima y que no afectará las fechas pactadas, además que si se considera un plan de recuperación el mismo debería ser no muy agresivo para no estresar la productividad de manera innecesaria
- $PS\% < 80\%$ Se debe realizar un plan de recuperación tan agresivo como el la Productividad lo sugiera, pues ahora sí se considera estar en un rango de productividad que pone en riesgo las fechas pactadas.

Causas de Incumplimiento

Para entender de mejor forma las razones que ocasionan se presente un sesgo grande o una productividad baja se propone asignar a cada actividad que no se haya podido realizar o terminar en el tiempo estipulado una causa de incumplimiento. Primero se debe asignar una causa de incumplimiento genérica, dicha causa de incumplimiento es un motivo general de porqué se generó el retraso. Las causas de incumplimiento generales deben de estar limitadas a unas pocas, además de ser claras y concisas, algunos ejemplos propuestos pueden ser “Falta de Pago”, “Impacto por Actividad Anterior No Realizada”, “Falta de Personal”, etc.

Las causas de incumplimiento generales deben ser generadas y controladas de acuerdo a la experiencia de quien lidere la metodología, además de irse adaptando a lo que ocurra en el proyecto sin incurrir en estar generando muchas e innecesarias causas de incumplimiento. La intención de controlar dichas causas de incumplimiento es para que ayuden a fines estadísticos, tanto de históricos para saber qué ocurrió en determinado periodo que pudo ser o no complicado. Por otro lado, ayuda a entender el panorama general de los retrasos que se presentan en el momento, siguiendo con los ejemplos anteriormente propuestos si se tienen muchos retrasos causados por “Falta de Personal” se deben realizar campañas para que se reclute más personal o dejen de ausentarse; otro ejemplo es que si se tienen muchas causas de incumplimiento del tipo “Impacto por Actividad Anterior No Realizada” se deben enfocar esfuerzos por agilizar las actividades que generan retrasos y ver cómo evitar que exista un impacto mayor a actividades posteriores por las que no se están realizando en el momento.

Se debe seleccionar correctamente la causa de incumplimiento correspondiente para que cumpla con los fines anteriormente establecidos. Para realizar correctamente la causa que le corresponde se debe utilizar la metodología de los 5 porqués, para ello se debe empezar con la pregunta ¿Por qué no se pudo terminar o realizar la actividad?, después de ello se debe seguirse con la metodología con los otros 4 porqué hasta obtener lo que se considere la causa raíz de la no realización de la actividad. Una vez que se obtiene la causa raíz debe elegirse una causa de incumplimiento general a la que pertenezca dicha causa de incumplimiento.

Por último, se sugiere dejar un espacio abierto para que pueda explayarse de mejor manera quien asigna la causa de incumplimiento explicando de mejor manera lo que sucedió, esto no debe subir a la estadística y debe ayudar únicamente como histórico del porqué no se realizó la actividad así como para poder obtener de manera más puntual una solución a lo ocurrido.

Seguimiento al MRP

Este archivo se sugiere que sea revisado semanalmente entre los líderes del proyecto como cliente, supervisora o contratista general para tenerlo actualizado de acuerdo a lo que está sucediendo y sean ellos quienes tengan capacidad de decisión sobre cuándo se debe suministrar acorde a lo visto anteriormente.

Lo primero que se debe realizar es revisar de nuevo el desglose se tenían para asegurar que no habían cambios de diseño aprobados en su totalidad que afectaran los suministros previamente enlistados en la herramienta. En caso de existir cambios al proyecto que ya estuvieran totalmente aprobados los mismos tenían que ser minuciosamente revisados para ver cuáles eran los materiales nuevos para enlistarlo, cuáles materiales definitivamente ya no se ocuparían para borrarlos del listado y que no causen ruidos, los materiales ya existentes, pero que tuvieran que cambiar su cantidad de unidades a suministrar que se vio afectada por el cambio de proyecto y revisar si existen materiales no afectados dentro del área que sufrió el cambio. Una vez rectificado el nuevo listado (en caso de haberlo) se tienen que marcar aquellos cambios que se realizaron del listado anterior al actual para investigar, negociar y actualizar las fechas de entrega existentes y así poder observar la afectación e impacto que estos pueden tener al proyecto.

Después se procede a ver si existe actualización de fechas de entrega, si es que es necesario actualizarlas, se tiene que dar por máximo el plazo de una semana para poder entender el impacto que se tiene en el proyecto, negociar mejores fechas de entrega de ser posible, generar planes que minimicen el impacto y ya como último recurso reprogramar el proyecto para adaptarlo a la nueva actualidad acorde a los suministros. En caso de que el impacto observado sea positivo se sugiere empezar a negociar con los proveedores las fechas de producción un poco más ajustadas para poder mejorar la fecha de entrega del proyecto, será complicado que acepten porque no se querrán ver más justos en los tiempos, sin embargo se puede usar en un futuro como argumento a favor porque se conocerá que tienen una planeación más holgada.

Esto debe realizarse semana a semana para no perder el seguimiento puntual de los materiales del proyecto, pues recordemos que de nada sirve tener personal, equipo y planeación de actividades si no se tienen los materiales en sitio porque simplemente no se hará nada ya que no habrá con qué trabajar.

Seguimiento con Plantillas de Calidad

Una vez que se cuenta con la plantilla de Calidad solicitada se procede a ser llenada de acuerdo a la actividad evaluada desglosada en la WBS. Este proceso debe hacerse por determinados responsables que se encarguen de rectificar por medio de muestreos que se estén realizando las actividades con la calidad requerida y siguiendo la plantilla de calidad correspondiente.

El proceso ideal será que cada subcontratista lleve las plantillas que aplican para hacer un seguimiento y check de lo que sucede en cada uno de los puntos. Dentro de cada plantilla se debe especificar al responsable de evaluar y dar seguimiento a cada una de las plantillas de acuerdo a la especialidad y de quien consideren los líderes del proyecto debe realizar ese seguimiento de acuerdo a su nivel de relevancia en el mismo o de la importancia de su empresa.

Cada uno de los puntos con los que cuenta la plantilla de calidad tiene tres formas de ser evaluado. La primera forma de evaluación que es “Aprobado” implica que el punto evaluado cumple con lo que se requiere en el mismo, que no necesita corrección y que está acorde a los estándares del Manual de Calidad.

La segunda forma de evaluación es “Rechazado”, la cual implica que no se cumplió cabalmente con el punto de inspección requerido. Lo que procede en este caso es que quien esté realizando la inspección tome una foto donde se muestre la falla por la que no se aceptó el punto. Posteriormente en un apartado de texto el supervisor debe explicar por qué no se aceptó ese punto. Finalmente, en otro apartado se debe asignar a la persona responsable de la corrección de dicho punto, la cual debe reportar cuando se haya corregido, tomar una foto de la misma y reenviar a revisión en un lapso que se considere pertinente por los líderes del proyecto. El proceso anterior se repite hasta que la plantilla no contenga algún punto “Rechazado”, o sea que no contenga errores en algún punto de calidad.

La tercer y última forma de evaluación es la de “No Aplica”. Recordemos que las plantillas deben estar estandarizadas para los requerimientos del proyecto y que son realizadas específicamente para el mismo, sin embargo, cuando hay trabajos iguales o similares en otro proyecto dicha plantilla puede ser utilizada para evaluar dichas actividades. En situaciones como la anteriormente planteada puede implicar que la plantilla no se adapte totalmente a la actividad, en caso de faltar puntos se debe generar una nueva plantilla que contenga los puntos y añadiendo los necesarios, en caso de que sobren puntos se opta sencillamente por colocar que el punto específico que se desea evaluar con “No Aplica” con la intención de que no se busque el punto al momento de hacer la revisión y que se puedan entender las implicaciones de que dicho punto no sea evaluado, además de evitar retrabajos innecesarios al generar una plantilla similar, pero con menos puntos que la original.

Para dar por cerrada la plantilla de calidad no se debe contar con ningún “Rechazado” dentro del mismo, o sea tener todo como “Aprobado” o en su defecto con “No Aplica”. Una vez que esto sucede, el responsable de supervisar debe marcar como “Cerrada” la plantilla y al mismo tiempo colocar su firma en la plantilla con la cual muestra estar de acuerdo con lo que se revisó y asegura que no presentará defectos el trabajo evaluado.

Muestreo de Calidad

Mantener la calidad en un proyecto de construcción es esencial para lograr los objetivos del mismo tanto en funcionalidad como en expectativas estéticas, por lo que estar supervisando de manera constante el proceso de producción se convierte en una actividad importante para asegurar la calidad. Se entiende que estar supervisando todas las actividades se puede convertir en una actividad desgastante, que representaría un gran costo debido a que ciertas inspecciones tienen un alto precio y sería necesario mayor personal para poder cumplir la supervisión de todas las actividades. La intención de usar muestreo es para evitar la supervisión de todas las actividades que se realizan con el desgaste que ello puede representar o el desperdicio de sobreprocesamiento al revisar más actividades de las necesarias si se trabaja con muestreo, además de evitar de mejor manera el desperdicio defectos por actividades que no cumplen con los requerimientos necesarios, asegurando una mayor calidad en la producción.

Para empezar este muestreo es indispensable conocer el método de Muestreo por Tabla Militar Estándar, misma que metodología que ya fue explicada anteriormente en el marco teórico del presente trabajo, donde se debe establecer un estándar general de intervalo de confianza para la calidad en el proyecto, se sugiere el estándar general en la industria que es del 95%. Lo propuesto es enlistar las actividades que se terminaron en la última semana, de preferencia sin ningún orden que se pueda percibir, enumerarlas y elegir al azar una de ellas. Posterior a elegir la actividad se ve cuántas actividades de esa misma se realizaron a lo largo de la semana, esa misma cantidad de actividades se tomará como la población general.

Después se asigna una letra de acuerdo al nivel de confianza deseado y la población correspondiente para determinar la cantidad de elementos a muestrear. En caso de que las pruebas de calidad requeridas para la actividad (misma que debe estar plasmada en el manual de calidad) rebasen los costos proyectados se debe ajustar el nivel de confianza a alguno que sí permita cumplir con los costos proyectados (asumiendo el riesgo que puede conllevar bajar el nivel de confianza).

Como se procederá a revisar es tomando todas las actividades terminadas que son del mismo tipo, aunque obviamente ubicadas en distintos lugares del proyecto, las mismas serán enumeradas y de alguna manera se debe seleccionar de manera totalmente aleatoria el número de la zona donde se hará la revisión. Siendo las mismas actividades las que se revisarán como por ejemplo pintado de algún muro, colocación de alguna tubería, colado de alguna columna, etc. lo que variará es el área donde se realizarán las revisiones y eso mismo es lo que se debe colocar en aleatorio para que las actividades revisadas sean de distintos lugares. En caso de que alguna actividad no pase con los requerimientos de calidad estipulados en el manual de calidad es razón para rechazar todo el lote completo de esas actividades.

Vale la pena acotar que por lote se entienden a todas las actividades realizadas en la última semana que no han sido revisadas, si ya fueron medidas en un lote anterior no vale la pena revisarlo de nuevo. En caso de que la actividad ya tenga más de una semana sin ser revisada en ese lote se deben incluir todas aquellas actividades no incluidas en ningún lote, no es necesario aumentar el nivel de confianza porque lo que va a variar es el tamaño de

lote y con ello muy probablemente se aumentará la cantidad de elementos a muestrear, si así corresponde según la tabla. Al final de que se realicen todas las actividades de un mismo tipo se debe ejecutar este procedimiento para todas las actividades, tomando como población general a todas las que se realizaron en las distintas zonas y muestrear tomando como elemento aleatorio la zona donde se realizó la actividad, de igual forma basta con que una actividad no cumpla con las características para rechazar todas las actividades realizadas.

Se pueden seleccionar lapsos distintos para realizar el muestreo de las actividades dependiendo las características de las mismas requieran; de igual forma se puede realizar la revisión terminando todas las actividades de una misma área o una determinada cantidad de las mismas, según considere sea lo adecuado quien liderará el muestreo lo funcional dependiendo del proyecto y actividad. Finalmente, cuando se rechace todo el lote depende de las políticas de la empresa líder o las elegidas para el proyecto lo que se realizará con aquellas actividades rechazadas, si se decide que la contratista que elaboró la actividad debe realizar una revisión más estricta de las actividades que se realizaron y corregir los errores que encuentre, otra opción podría ser que la empresa líder acompañe a la contratista en la revisión para supervisar de cerca la corrección de las actividades o en un caso muy estricto si todas las actividades deben realizarse de nuevo a costo de la contratista responsable.

Punch List: Calidad al Final del Proceso

Este proceso de revisión final minuciosa de áreas se sugiere sea realizado previo a la entrega de las mismas al cliente final, pues en él se asegura que se entregará un área con los estándares de calidad que quedaron plasmados en el manual de calidad, se debe realizar para entrega al cliente interno y que este último lo ponga a disposición del cliente o usuario final.

El proceso consta de un recorrido hecho con una persona que sea responsable de calidad de la empresa que lidere directamente la construcción (cliente o supervisora) y otra persona de la empresa que sea responsable de la ejecución de la construcción (contratista general). En dicho recorrido del área se deben marcar los detalles observables de acabado y funcionalidad en el área a ser recibida, dichos detalles deben estar acordados por todas las personas que realizan el recorrido, pues el responsable de calidad va a querer un área perfecta, pero quienes ejecutan conocerán las limitantes técnicas o contractuales del porque puede que el detalle marcado no sea posible corregirlo basados también en el manual de calidad y los criterios tanto aceptables como los que no. En caso de llegar a un acuerdo en el detalle marcado, este deberá ser corregido a menos que exista un argumento que refute la observación realizada.

Los detalles deben ser marcados con una cinta o un sticker de color para que, cuando entre la cuadrilla de la disciplina a la que corresponde reparar el daño, sepa dónde se encuentra el mismo físicamente.

Al mismo tiempo, se sugiere imprimir un plano del área a inspeccionar para, dentro del mismo, indicar dónde se encuentran los detalles, mismos que serán enumerados con la finalidad de que en una lista física se coloque una pequeña descripción del detalle y le sea

más sencillo encontrar dicho detalle a la cuadrilla encargada de entrar a atenderlos. Además, cuando se regresara a revisar si se atendieron los detalles marcados, ese plano sirve como base para ver si aún siguen y se tachan si ya no se encuentran, de lo contrario se dejan ahí para la siguiente revisión.

Por otro lado, y para tener aún más control sobre estas revisiones, se sugiere dejar un sustento electrónico en alguna herramienta que sea de acceso para los involucrados, en el cual se vaya generando una observación por cada uno de los detalles observados. Dentro de la misma herramienta que se anexe el plano con la localización de la observación que se está reportando; además de aprovechar la herramienta para tomar una fotografía del detalle la cual será adjuntada a la observación; también clasificar de alguna forma la observación de acuerdo a la disciplina que pertenezca y al tipo de detalle observado. Otro elemento a tomar en cuenta al desarrollar estas observaciones vía electrónica es que se permita designar a la persona encargada de rectificar la observación obtenida dependiendo a quien se designen la contratista ejecutora y si quiere que sea alguien de su empresa o desean que sea asignado directo a alguien de la subcontratista. Por último, se sugiere anexar un texto que permita describir la situación que está ocurriendo en la observación abierta para que sea más claro para el asignado y permita a todos los involucrados darle seguimiento.

Este proceso está destinado a realizarse un mínimo de dos veces en una misma área, la primera para revisar el estatus de la misma y la segunda para ver si se corrigieron los detalles encontrados, aunque si en la segunda se encuentra que no se atendieron detalles o surgieron nuevos se realiza de nuevo el proceso hasta que se considerara óptima el área para ser entregada, contando con alguna sanción (se sugiere que sea económica) por cada revisión nueva realizada.

Personal de Obra

Las contratistas deben tener acceso y conocimiento de las actividades planeadas y el tiempo que conlleva la realización de las mismas, lo que les permite tener una planeación de diversos recursos como materiales, equipos y especialmente personal. La cantidad de trabajadores, que es muy importante en los proyectos, se conocerá como “Personal de Obra”, esto porque es un término más sencillo y resumido. En este término se contempla todo tipo de personal ya sea administrativo, supervisión, seguridad y sobre todo personal de manufactura en obra.

Cada organización puede tener la libertad de hacer su planeación inicial de personal en el proyecto porque ellos conocen la carga de trabajo con la que cuentan, cuántos supervisores necesitan y especialmente conocen al personal con el que cuentan y como pueden distribuirlo de acuerdo a sus capacidades, conocimientos y habilidades. Es deseable dejar a cada organización tener esa libertad para que ellos puedan manejar su presupuesto y que no sientan una imposición que pueda prestarse a malos entendidos. Por otro lado, las organizaciones deberían estar obligadas a reportar diariamente el personal con el que cuentan, al final de la semana hacer un promedio de dicho personal y reportar dicho promedio al responsable de ejecutar la presente planeación en el proyecto, En dicho promedio deben tomarse en cuenta los días de asueto para que sea visible la posible afectación y baja de personal que tengan las mencionadas fechas en los proyectos, el

promedio se debe hacer tomando en cuenta los días laborables de la semana que se tienen pactados bajo contrato, por ejemplo si en el proyecto se trabaja cinco días a la semana se debe dividir el personal entre los cinco días reiterando que se debe ver reflejado el bajo o nulo personal en días de asueto oficial. A continuación se muestra la fórmula de promedio de mano de obra semanal para un mejor entendimiento:

MOS = Promedio de Mano de Obra Semanal

PD_n = Personal Día n de la semana

DL = Cantidad de días a la semana que se labora

$$MOS = \frac{\sum_{n=1}^{DL} PD_n}{DL} = \frac{PD_1 + PD_2 + PD_3 + \dots + PD_{DL}}{DL}$$

Como debería funcionar particularmente este registro y reporte es que cada Contratista involucrada en los proyectos suba el promedio anteriormente explicado con el líder semanalmente durante el periodo que dure su contrato en el proyecto y los ajustes oficiales de éste. Se deben sumar todos los promedios para al final mostrar un número general del proyecto, además se pueden consultar los números por separado de cada Contratista y Subcontratista para poder sacar conclusiones por separado. Esta información puede ser muy importante a posteriori porque podría permitir entender lo que sucede en el proyecto con el personal en una determinada semana.

Se considera que el avance que se tiene en el proyecto está relacionado con la cantidad de personal con el que se contara, por lo que se puede vincular la baja en productividad o el aumento de sesgo y baja de productividad con la cantidad de personal con el que se contaba. Cabe resaltar que no siempre es así, pues en ocasiones pocas personas con el correcto material y equipo pueden producir más que muchas personas con recursos incorrectos, con lo anteriormente explicado se puede ver de otra forma la información recabada, pues podría ayudar a prevenir desperdicios, ya que si se viera una baja en la productividad con un incremento de personal podría implicar que se está desperdiciando en personal. A final de cuentas, esta información una vez recabada podría darsele una utilidad de inferencia respecto a lo que pasaba con los indicadores de avance en el proyecto y entender que en determinadas épocas del año calendario podría haber una baja de productividad ocasionada por factores sociales o tradicionales relacionados a los días festivos no productivos.

La mano de obra general se veía directamente afectada por la cantidad de trabajos planeados en un determinado periodo de tiempo, por lo que era común que mientras el proyecto fuera avanzando la mano de obra fuera incrementando por la cantidad de disciplinas y especialidades que se realizaban en ese momento y mientras el proyecto fuera terminando esta iba bajando porque habían menos disciplinas a realizar. En conclusión, la mano de obra sí era determinante para entender los indicadores de desviación y productividad, pero también es una información que puede ayudar a entender como afectan los factores estacionales, tradicionales y calendáricos que hacen que pueda bajar la productividad en un proyecto, aunque también es una información que debe ser bien

interpretada con mucha atención para entender factores desperdicios que pueden estar afectando al proyecto.

Muestreo de Seguridad

Siguiendo los principios de muestreo que se explicaron en la Tabla de Muestro Militar Estándar se adaptará ese método de muestro para ahora asegurar la seguridad diaria en los proyectos de construcción. De igual forma, se elegirá un nivel de confianza que se desee para muestrear y que dé la confianza de que las actividades se están realizando de manera correcta en cuanto a los estándares de seguridad. Lo que se hará es enlistar las actividades que están programadas a realizarse en ese momento según lo programado en las WBS y contarlas.

La cantidad de actividades que se están realizando en el momento será el tamaño de lote, esto debido a que es el total de la población de actividades que se pueden revisar en ese momento. De acuerdo con el nivel de confianza seleccionado para las muestras de calidad y de acuerdo al tamaño de lote se procederá en la Tabla Militar Estandarizada a seleccionar la cantidad de actividades a muestrear. De las actividades del lote se elegirán de manera aleatoria la cantidad de actividades que correspondan al nivel de confianza elegido y al tamaño del lote, dichas actividades son las que se procederán a revisar de manera directa y presencial.

No debe existir consecuencia alguna si la actividad se está realizando con los estándares de calidad requeridos, pero si la actividad no cumple con la seguridad requerida se revisarán todas las actividades que la contratista con el error y se meterán penalizaciones por cada actividad mal realizada. Para mantener los principios de aleatoriedad todas las actividades tendrán el mismo valor, aunque se sabe que hay actividades que implican mayor riesgo en su elaboración tendrán el mismo valor que las del mínimo riesgo porque la realización tan delicada de dichas actividades forzarán a que se realicen con mayor cuidado, y en ocasiones la simplicidad de tareas puede llevar a grandes descuidos. La ventaja con la metodología que se está presentando es que puede jugar con el nivel de confianza de acuerdo a los recursos con los que se cuente, pues si se cuenta con mayor recurso económico, de tiempo y humano permitirá realizar revisiones con mayores márgenes de confianza, por ende, si el recurso es menor se bajará el nivel de confianza.

Por otro lado si los recursos siempre serán los mismos a lo largo del proyecto, se puede ajustar la confianza para mantener los mismos recursos pero siendo conscientes que a mayor cantidad de actividades menor será la confianza en la revisión realizada. En cambio, si los recursos pueden ir variando de acuerdo al avance del proyecto, se puede buscar ajustar los mismos para que sean suficientes y permitan mantener el nivel de confianza elegido en un principio.

La anterior metodología aplica únicamente para los líderes del proyecto, con la intención de que hagan muestreos más puntuales y minuciosos, además que apliquen las penalizaciones correspondientes, no es una metodología que implique o pretenda de alguna forma bajar los requerimientos de seguridad en obra o el personal que realiza la seguridad en la misma según aplique en los manuales regionales y de la organización líder del proyecto (cliente, contratista general o supervisora). Cabe acotar que mucho de lo

previsto en la seguridad dentro de las actividades a realizar viene en los check list de seguridad, por lo que se debe basar en ellos para realizar las revisiones y observar que esos puntos mínimos se cumplan, además de asegurar que se cumplan los otros principios de seguridad que no estén considerados en el check list, pero que el experto de seguridad sepa son necesarios para resguardar la seguridad de quien realiza la actividad, el material y los alrededores.

Pizarras Infográficas Por Nivel Tercera Parte: Estatus Por Contratista

En la tercera sección del tablero de producción que se encuentra en cada nivel hay una tabla donde se muestra porcentualmente el avance planeado y real que tienen las contratistas que en ese momento se encuentran con actividades programadas en fecha programación dentro del nivel analizado. El avance planeado se toma de las fechas acuerdo porque son aquellas que siguen el plan acordado con las subcontratistas para llegar a los objetivos planteados; lo que se hace es sumar el valor porcentual ponderado de las actividades totales a realizar por la contratista en el nivel y ese resultado es usado para dividir la suma de la ponderación de las actividades que ya se debieron haber realizado según las fechas base. El avance real son simplemente la suma de la ponderación de las actividades realizadas divididas entre la ponderación actividades totales que corresponden a la contratista en el nivel. El avance planeado y real son explicados en fórmulas a continuación:

$$R = \text{Avance Real de la Contratista en el Nivel}$$

$$P = \text{Avance Planeado de la Contratista al Momento}$$

$$RM = \text{Avance Real del Nivel al Momento}$$

$$PT = \text{Avance Planeado Total del Nivel}$$

$$PM = \text{Avance Planeado al Momento}$$

$$R = \frac{RM}{PT}$$

$$P = \frac{PM}{PT}$$

En la parte baja y final de esta sección se incluyen todos los avances reales vs avances planeados de todas las contratistas que están, han estado o estarán en el nivel, pero a diferencia de lo anterior aquí se muestran de forma gráfica y no numérica. La intención con esto es que se vean las actividades que se esperan ya hayan terminado las contratistas encargadas de determinadas disciplinas, se ven cuáles se deberían estar realizando con

su respectivo estatus (atrasadas, a tiempo o adelantadas) y cuáles se planean hacer en algún momento.

Pizarras Infográficas Nivel Cuarta Parte: Avance General en el Nivel

Esta información debe ser igual en cada uno de los niveles, ya que se considera necesario conocer el estatus del nivel donde se localiza quien se informa y poderlo comparar con otros niveles, esto con la intención de saber cómo debería encontrarse determinado nivel en comparación de otros y entender cómo es la planeación constructiva de la edificación, con lo último se debería entender cómo se está atacando el tren de producción en el edificio por nivel y ver cuáles son los niveles prioritarios de acuerdo al plan que se está siguiendo o el plan acordado de manera oficial entre todas las partes. La información es presentada con gráficos por nivel donde se observa el avance planeado vs el avance real que se tiene en los mismos.

Cada uno de estos avances debe verse con distintos colores que contrasten entre sí, con la intención que se observe la diferencia entre el avance que se tiene y el avance que se tiene planeado originalmente en el nivel. Se sugiere que el gráfico aparezca especificando el nivel del que se proporciona la información (deben aparecer todos los niveles), un par de gráficos de barras con los respectivos avances y el número específico que representa el avance de cada barra.

Esto último también ayuda a que se pueda distinguir físicamente entre un nivel con avance superior al planeado, uno que va respecto a lo planeado y otro con atraso. Este tipo de comparación puede ser más útil con niveles o espacios que van a ser iguales o que tienen un tren de producción muy similar porque conociendo el avance porcentual que se tiene en un nivel se puede determinar físicamente cómo se ve de acuerdo a ese avance. Tener ese avance impreso de manera física puede apoyar a determinar esfuerzos, para priorizar todo tipo de recursos en niveles que tengan más retraso, no enfocarse tanto en aquellos que estén más adelantados y mantener esfuerzos en aquellos que vayan de acuerdo al plan original.

Conclusiones

Con base en los principios rectores de Lean Manufacturing se logró desarrollar una metodología adaptada a las necesidades específicas de la Industria de la Construcción que permite realizar un análisis de lo que se produce para identificar si se está siguiendo el plan de producción planteado inicialmente y corregir en caso de alguna desviación para así conseguir una mejora continua en la producción. La mejora continua y la planificación estratégica son presentadas como pilares esenciales para alcanzar altos niveles de desempeño. Se logró desarrollar un sistema de control de calidad donde primero se estandarizaron los resultados esperados y después se propuso un sistema de muestreo que permite asegurar que mientras se desarrollan las áreas se está cumpliendo con lo dispuesto. Se desarrollaron controles que permiten prevenir desperdicios como el de almacenaje por medio de los indicadores del MRP, de defectos por medio de los muestreos

de calidad, de esperas por medio de una planeación más eficiente de actividades y al mismo tiempo se erradica la sobreproducción.

Por medio de una planeación más eficiente, como la búsqueda a través de las WBS, además de un mayor aprovechamiento de los materiales como el que se plantea por medio del MRP un mayor aprovechamiento de los recursos. La planificación de la producción se refiere al proceso de organizar y asignar recursos de manera eficiente para producir bienes y servicios. Por otro lado, la implementación de varios y diversos apoyos visuales ayuda a involucrar de mejor manera a todo el personal dentro del proyecto, desde los altos mandos hasta cualquier obrero. Al mismo tiempo se establecieron métodos que ayudan a definir el tren de producción por medio de enlistar las actividades, asignarles una secuencia lógica y funcional, establecer tiempos elaboración y asignarles un nivel de importancia de acuerdo a sus características incluyendo el impacto que tiene su realización u omisión dentro del mismo tren de producción. Esto incluye la planificación de cada etapa del proceso productivo, desde la adquisición de materiales hasta la entrega del producto final, con el objetivo de garantizar la máxima eficiencia y minimizar los desperdicios.

Los suministros se convirtieron en eje central de la metodología al ser tomados en cuenta para darle relevancia a una actividad entorno a la complicación que puede implicar conseguir el material, sus manejos y tiempo de llegada, además de contar con su propia planeación y control por medio del MRP.

La calidad es un eje central tomado muy en cuenta en la presente metodología tanto en la planeación de la misma por medio de la estandarización de lo que se busca en los trabajos para que se considere que satisface sus requerimientos por medio de un manual de calidad y plantillas de calidad que resuman el estado antes, durante y después de hacer los trabajos tanto del material, como del equipo y entorno donde se realizará. Las técnicas de muestreo de calidad se presentan como herramientas precisas para evaluar la calidad y eficiencia, proporcionando datos valiosos para identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas. Este aspecto se desarrolla exitosamente, mostrando cómo estas técnicas pueden impulsar el rendimiento organizacional.

La planeación de la preparación y nivel de especialización con las que deben contar las personas que realicen las actividades proyectadas está presente desde que se especifica lo complicado que puede ser encontrarlas con la dificultad de personal, además de llevar un récord del personal presente por contratista y disciplina que ayuda a inferir conclusiones que pueden estar relacionadas con la productividad o sesgo del plan original. La seguridad en obra se optó por relacionarla intrínsecamente a la calidad con base en que si un trabajador no realiza su labor de forma segura, difícilmente lo hará con la calidad requerida, entonces los factores de seguridad de personal, equipo y entorno son tomados en cuenta en las plantillas de seguridad, además se desarrolló un método de muestreo de seguridad para los líderes que ayude a asegurar mayores estándares de seguridad en los proyectos sin mucho desperdicio de tiempo y mayor detalle en la revisión.

El control de la producción asegura la implementación de sistemas de monitoreo y evaluación constantes para medir el rendimiento y la calidad. Estos sistemas permiten identificar rápidamente cualquier desviación de los estándares establecidos y tomar medidas correctivas de manera oportuna. Se desarrollaron indicadores que apoyan a comparar lo planeado en seguridad, en calidad y sobre todo en producción contra lo que en

realidad sucede en los respectivos rubros arrojando como resultado las diferencias entre uno y otro con la finalidad que ayude a arrojar alertas y con ellas apoyar en la toma de decisiones que apoyen a ajustar de mejor manera lo que sucede con el plan original. La productividad fue eje central de uno de los indicadores desarrollados, pues se sabe que es un concepto importante para controlar la producción y erradicar desperdicios, por lo que adaptarla a un recurso tan determinante como el tiempo fue importante para arrojar alertas adecuadas. Al momento que se homologaron criterios para asignar relevancia a actividades se desarrolló otro indicador importante que toma en cuenta la ponderación de las mismas para determinar el sesgo existente entre el plan original y lo que sucede en la realidad.

Por otro lado, basados en las alertas arrojadas por los indicadores desarrollados se implementó una metodología para análisis de causas que ocasionan retrasos en la producción respecto a lo que se tiene planeado, en dicha metodología se busca atender la causa raíz de los retrasos, además de generar estadísticas históricas de lo que ocasionó los retrasos que se han presentado para prevenir en un futuro dentro del proyecto. Con lo anterior se hace más sencilla la toma de decisiones apoyado en los indicadores y planeación tanto de suministros como de personal.

El primer objetivo particular se cumple debido a que se desarrolla un método de obtención de causa raíz en caso de algún retaso para con ello poder buscar alternativas que ayuden a recuperar el retraso, mismas alternativas que pueden girar entorno a una mejor disposición humana o de materiales que son gestionados en sus respectivas herramientas de control.

El segundo objetivo particular también es cumplido dado que se logró desarrollar una metodología para clasificar las actividades y así entender cuáles pueden tener mayor relevancia de acuerdo a su impacto en el tren de producción, su costo, el nivel de especialización de quien lo realiza y tanto el manejo como la consecución de su materia prima. La clasificación de las actividades cimentó los indicadores de producción ya que la realización o no de una actividad impacta de distinta manera el indicador de acuerdo a la relevancia correspondiente a la actividad.

Una metodología como la planteada en el presente trabajo integra métodos y herramientas de la Ingeniería Industrial a una industria tan particular como la de la construcción mezclando exitosamente en uno solo los objetivos de ambas, pues se planteó desarrollar infraestructuras arquitectónicas y civiles a la vez que se hacían más eficientes sus procesos productivos.

Se cumplió con el objetivo general del trabajo dado que se consiguió elaborar una metodología que tiene como eje central la reducción de desperdicios en los procesos de producción dentro la industria de la producción. Otro aspecto por el que se considera que se cumplió con el objetivo principal planteado es porque al momento de desarrollar los indicadores se consiguió un método que arroja alertas para indicar cuando los objetivos de producción se ven comprometidos tomando en cuenta todos los factores que se consideraron importantes e influyentes en los mismos como actividades, suministros, calidad, personal y seguridad. Los objetivos de eficiencia, productividad y calidad se logran desarrollar exitosamente en el texto, ofreciendo soluciones integrales y prácticas que pueden ser aplicadas en diversos ámbitos organizacionales.

Bibliography

- Gutarra, Felipe (2015) "Introducción a la Ingeniería Industrial". México: Fondo Editorial de la Universidad Continental
- Panaia, Martha (2004) "El sector de la construcción: Un proceso de industrialización inconcluso". Argentina: Nobuko
- Project Management Institute (2019) "Practice Standard for Work Breakdown Structures". Estados Unidos: Project Management Institute
- Arndt, Philipp (2005) "Just In Time: El Sistema de Producción Justo a Tiempo". España: Ciando
- Koch, Richard (2013) "El Líder 80/20: Diez Formas para Convertirte en un Gran Líder"; Ciudad de México. México. Penguin Random House Grupo Editorial México.
- Kimms, Alf; Drexl, Andreas (2013) "Beyond Manufacturing Resource Planning (MRP II)"; Alemania: Springer
- Real Academia de la Lengua Española (2014) "Diccionario de la Lengua Española RAE". España: RAE
- Pérez, Rafael (2015) "Instalaciones hidrosanitarias, de gas y de aprovechamiento de aguas lluvias en edificaciones"; Colombia: Ecoe Ediciones
- Farina, Alberto & Sobrevila, Marcelo (2014) "Instalaciones Eléctricas". Argentina: Alsina
- De Agüero, María (2002) "El Pensamiento Práctico de una Cuadrilla de Pintores". México: Universidad Iberoamericana
- Gómez, Roberto (2018) "La Fachada Infinita: Imagina tu Fachada Comercial"; España: Denorte
- Harris, Frank & McCaffer, Ronald (2013) "Modern Construction Management"; Inglaterra: Wiley-Blackwell
- Sabry, Fouad (2024) "Productividad". Australia: Mil Millones De Conocimientos [Spanish]
- Almanza, Laura (2021) "Principales Factores Causales del Sobrecosto en Proyectos de Construcción Colombianos: Una consulta a Profesionales del Sector": Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- INEGI (2023) "Indicadores de Empresas Constructoras"; México: INEGI.
- INEGI (2023) "Conociendo la Industria de la Construcción y los Servicios de Apoyo a la Construcción"; México: INEGI
- Secretaría de Economía (2024) "Construcción"; México: Data México.
- Consejo Mexicano de la Industria de la Construcción (2024) "Informe Nacional del Sector de la Construcción Marzo 2024"; México: Consejo Mexicano de la Industria de la Construcción.
- Consejo Mexicano de la Industria de la Construcción (2024) "Informe Nacional del Sector de la Construcción Enero 2024"; México: Consejo Mexicano de la Industria de la Construcción.
- Alarcón, Luis (1997) "Lean Construction"; Estados Unidos: Escuela de Ingeniería de la Universidad Católica de Chile.
- Botero, Luis (2021) "Principios, Herramientas e Implementación de Lean Construction"; Colombia, Universidad EAFIT

- Sergiyenko, Ana (2024) “
- Koskela, Lauri (2020) “Lean Construction: Core Concepts and New Frontiers”; Estados Unidos, Routledge
- González, Motnserrat (2005) “Gestión de la Producción: Cómo Planificar y Controlar la Producción Industrial”; España, Ideaspropias
- Carreras, Manuel (2021) “Lean Manufacturing: Herramientas para Producir Mejor”; España, Días de Santos
- Medina, Gerardo (2021) “Principales Problemas que experimenta la Industria de la Construcción”; México, Lean Construction México
- Gutiérrez, Nelson (2019) “Cada 75 segundos ocurre un accidente en la Industria de la Construcción en México”; México, Safe Satart
- Hernández, Pedro (2024) “Un estudio revela que la cultura en la Industria de la Construcción dificulta el apoyo a la salud mental”; México, La Nota del Día
- Andamios Express (2020) “Accidentes comunes en construcción, México 2019-2020”; México: Andamios Express
- Cuatrecasas, Lluís (2010) “Lean Management: La gestión competitiva por excelencia”; España: Profit Editorial
- Project Management Institute (2019) “Practice Standard for Work Breakdown Structures”; Estados Unidos: Global Standard
- “Reglamento de la Ley De Obras Publicas y Servicios Relacionados Con Las Mismas” Última Reforma 24 de febrero del 2023: Diario Oficial de la Federación
- García, Jorge (2015) “Just In Time Elements and Benefits”; México: Springer
- Pascual, Ramón (1989) “Nuevas Técnicas de Gestión de Stocks”; México: ISBN
- Socconini, Luis (2019) “Lean Company. Más allá de la Manufactura”; España: Marge Books
- Juez, Julio (2020) “Productividad Extrema: Como Ser más Eficiente, Producir más y Mejor”; España: Libro Autoayuda
- Nemur, Lisa (2016) “Productividad: Consejos y Atajos de Productividad para Personas Ocupadas”; Babelcube: México
- Chirino, José (2021) “Introducción a las Técnicas de Muestreo”; México: ISBN
- Escalante, Edgardo (2006) “Análisis y Mejoramiento de la Calidad”; Limusa: México
- Monsalve, Gisela (2018) “Planificación de Operaciones de Manufactura y Servicios”; Instituto Tecnológico Metropolitano: Colombia.
- Cuatrecasas, Lluís (2012) “Gestión de Calidad Total”; España: Díaz de Santos
- López, Paloma (2016) “Herramientas para la Mejora de la Calidad”; FC Editorial: España
- Griful, Eulàlia (2010) “Gestión de la Calidad”: Universidad Politécnica de Cataluña; España.
- Universidad Carlos III Madrid (2020) “Códigos para Military Standard”: Universidad Carlos III Madrid; Madrid