

TIME AND MOVEMENTS ANALYSIS IN THE PRE-BUILD STRUCTURES FOR INDUSTRIAL AREAS IN THE METROPOLITAN AREAS IN THE NORTH OF MEXICO.

Dominguez Rubio, I.; Aguirre Prieto, J. S.; Galvan Vazquez, S. A.;
Escobedo Rojas, J. F.

Universidad Autónoma de Coahuila

In the north of Mexico exist a very big demand of industrial lots in particularly mode due an important increase of the commercial trade between Mexico-USA-Canada and the international market. The increase of the commercial trades has request more short term investments, movements flexibility and the optimization of the time and cost to be competitive in the global market. With this scenario, the academic teams for projects and construction of the universities of UPM and UAC make these investigations with the goal to support the construction of the industrial buildings. This include the analysis of building processes with pre-build structures that help in the time reductions during the build process, movements, recycle that provide a better efficiency of the cost of constructions, operation time, production improvements hrs/man. The investigations have the goal to improve the companies' productivity because the north of Mexico at this moment hasn't this kind of pre-build structures.

Keywords: *Analysis; Optimization; Innovate; Productivity*

ANÁLISIS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS EN CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS PREFABRICADOS PARA NAVES INDUSTRIALES EN ZONAS METROPOLITANAS DEL NORTE DE MÉXICO

Hoy en día existe una gran demanda de espacios para actividades industriales en los estados del norte de México debido principalmente al crecimiento comercial entre los países del tratado de libre comercio México-Estados Unidos-Canadá con el mercado internacional, lo cual demanda en los industriales mayores inversiones con resultados a corto plazo, con flexibilidad de movimientos y optimización de tiempos y costos, y que a su vez permitan ser competitivos en el mercado global. Ante este escenario, los cuerpos académicos de proyectos y construcción de la UPM y UAC respectivamente, realizan esta investigación con el fin de contribuir a la sustentabilidad de la construcción de naves industriales en este escenario, analizando procedimientos constructivos con estructuras prefabricadas que permitan la flexibilidad en su construcción, desconstrucción, movimiento y reciclado, que dé como resultado a corto plazo, la eficiencia en costos de construcción, optimización de tiempos de operación, mejora de la producción horas/hombre y que permita innovar la productividad de las empresas, ya que actualmente en la zona metropolitana del norte de México no se cuenta con infraestructura necesaria para establecer este tipo de construcción de estructuras prefabricadas.

Palabras clave: *Análisis; Optimización; Innovación; Productividad*

Correspondencia: iren_domin@hotmail.com

1. Introducción

Hoy en día existe una gran demanda de Construcción de Naves Industriales, debido a los Tratados de Libre Comercio de México con otras zonas económicas de América. Por eso la inquietud de analizar los procedimientos logísticos constructivos de las naves industriales con respecto a las exigencias actuales del mercado y el desarrollo económico de la región norte del país (Suarez Salazar, 2002). En este contexto la dinámica de las actividades de construcción demanda la implementación de los nuevos esquemas de movimientos y tiempos para entregar los proyectos y flexibilizar los procesos de producción. A finales del siglo XX y principios del siglo XXI en países de Europa y en Estados Unidos de América se ha desarrollado una industria de prefabricación de estructuras para la construcción (Escrig Pérez, 2010) utilizando las nuevas tecnologías en los materiales que han permitido aprovechar mejor los espacios y acortar los tiempos de entrega de los proyectos impactando fuertemente esta dinámica en los tiempos y movimientos de los procesos de construcción, lo que ha dado como resultado a un área de oportunidad para el desarrollo en México de una industria de prefabricados, que se encuentra en vías de implementación y que no cuenta con los estándares industriales requeridos por los organismos acreditadores de procesos de calidad que permitan producir elementos estructurales que cumplan con los objetivos de seguridad, funcionalidad, economía, servicio y calidad para la industria de la construcción y en específico de las naves industriales.

Figura 1: Construcción Tradicional de una Nave Industrial.



El crecimiento de los polos de desarrollo en México ha generado espacios denominados Zonas Metropolitanas que requieren de construcciones dinámicas, flexibles y adaptables a los nuevos esquemas de la industria, que requiere de técnicos, ingenieros civiles y personal integrado a los retos que demanda la construcción de polígonos, parques y naves industriales.

La Construcción de Naves Industriales en este escenario es fundamental para el desarrollo de las Zonas Metropolitanas del Norte de México (B. Mendoza, 2009), debido a que esto representa la construcción de infraestructura que dé servicio a las alternativas empresariales y al crecimiento económico y comercial de la región, en donde se hace necesario la construcción de estos recintos con Estructuras Prefabricadas que disminuyan los tiempos y movimientos y que reduzcan los costos de construcción.

La Prefabricación en concreto empezó a desarrollarse a principios del siglo XX. Entre los pioneros se puede mencionar a Atterbury, principalmente por sus intentos de construcción en concreto armado a base de paneles montados con una grúa, es un sistema que precede a los modernos sistemas de Prefabricación pesada. Después de la primera guerra mundial en Europa se empiezan a desarrollar muchos sistemas de prefabricación (Aguiló Alonso, 1974). En los años treinta es cuando se empieza a desarrollar de manera plena la prefabricación en Estados Unidos. La segunda guerra mundial vino a acelerar el desarrollo de la Prefabricación por la necesidad de reconstruir la infraestructura urbana en el menor tiempo posible, posteriormente, otra razón era satisfacer las exigencias generadas por la explosión demográfica, entre otras. Francia ha sido el país que más ha desarrollado la Prefabricación, lo ha hecho a tal grado que su técnica compite de manera muy amplia en el mercado europeo actual.

2. Objetivo

Analizar el Procedimiento de Tiempos y Movimientos para la fabricación de Naves Industriales en relación a los nuevos procesos de construcción con Elementos Estructurales Prefabricados, esto con el fin de contribuir a la divulgación de criterios empleados en los rendimientos de mano de obra, equipo y materiales, e integrar el transporte, riesgos, costos, montaje, uniones y la logística requeridos para los elementos prefabricados. Identificar las metodologías que permiten evaluar las variables antes mencionadas y su impacto en la programación de Tiempos y Movimientos (Carriba Quintela, 2011) en la construcción de naves industriales, que nos permita contribuir a mejorar las medidas de control, ergonómicas y de seguridad; así como en las operaciones y sobreesfuerzos generados por la tipología de estos elementos en la integración de la infraestructura en las zonas metropolitanas.

Figura 2: Procesos de Elaboración de Elementos Prefabricados.



3. Caso de estudio

El Análisis de Tiempos y Movimientos en la construcción de Estructuras Prefabricadas para las Naves Industriales, implica la descomposición de un todo en partes para su investigación

en la Ingeniería Civil. En este contexto es relevante conocer los parámetros en los que se basa la descomposición. Para lo cual, el proceso de construcción a base de elementos prefabricados, se descompone en tres fases que son modelación, transporte y colocación. La fase de Modelación está compuesta de las siguientes actividades: diseño, movimientos relacionados a los materiales de acuerdo al lugar, tiempo, espacio y cantidad; así como colocación del acero, preparación de molde, planta de elaboración, curado en el caso de elementos de concreto y almacenamiento de los elementos prefabricados.

El Transporte consiste en determinar los Tiempos, Movimientos y Logística que permitan un traslado adecuado de origen a destino en un instante específico, ya que esto condiciona en gran medida la organización de los elementos estructurales que varían de tamaño, tipo de anclaje, junta y colocación (Díez Hernández, 2012).

Figura 3: Operaciones de Logística Especiales durante la Fase de Transporte.



La Colocación de los Elementos Prefabricados de acuerdo a las especificaciones del proyecto, considera los Movimientos de descarga, acopio, izado, colocación, arriostamiento de las piezas según su tamaño, tipo de anclaje y junta.

Cada operación del proceso requiere elementos estructurales a tiempo en un punto en particular, el manejo del proceso de manera eficaz genera Tiempos y Movimientos que impactan en la productividad y competitividad de este tipo de Naves Industriales; en las cuales, las uniones que se realizan entre los elementos constructivos se dividen en uniones estructurales y no estructurales; las primeras con el fin de transmitir una carga de un miembro a otro y las segundas consideradas de construcción únicamente tienen como finalidad el sostén de los elementos no estructurales del edificio, asegurando ciertas características como por ejemplo la estanqueidad, la continuidad del aislamiento, la resistencia al agua, etc. Una de las formas para reducir la mano de obra es el uso de los elementos prefabricados que existen en el mercado. Eso no solo nos debe preocupar, también debe motivarnos a utilizar nuevos diseños y métodos de cálculo que hagan más seguras, eficientes y económicas las estructuras, ya que se considera que la prefabricación puede ser un medio eficaz para abatir costos y reducir el tiempo de construcción; a continuación se presenta la parte central del análisis basado en los rendimientos, comparando los métodos convencionales de colocación (construcción in situ) y los métodos no convencionales (construcción con prefabricados).

Figura 4: Operaciones de Colocación de Elementos Prefabricados.



En el primer ejemplo, se hace la comparación para construir un muro de block de 3 m x 10 m en forma convencional contra la colocación de paneles prefabricados de 1 m x 10 m. En la forma convencional, empleamos 2 oficiales y 2 peones durante 6 jornadas realizando arriba de 11 000 movimientos que junto con el costo de los materiales nos genera un monto aproximado de \$15 000.00 M.N; mientras que con prefabricados se emplean 1 oficial y 1 peón durante 1 jornada realizando menos de 30 movimientos, que sumado al costo de los elementos prefabricados genera un monto aproximado de \$9 500.00 M.N. Aquí se observa un ahorro monetario de \$5 500.00 M.N, que es un 36.67 % menos que en la forma tradicional, ocupando alrededor del 16.7% del tiempo de colocación requerido respecto al método convencional.

En el segundo ejemplo se compara la construcción de un muro de contención, que retendrá una longitud de 10 m con una altura de 0.8 m; en forma convencional y con elementos prefabricados. Para el primero se emplean 2 oficiales y 2 peones durante 6 jornadas, efectuando aproximadamente 30 movimientos durante 8 jornadas, que junto al costo de los materiales suman un monto de \$5 600.00 M.N. Y en el caso del muro de contención construido con elementos prefabricados emplea 1 oficial y 1 peón durante 1 jornada, llevando a cabo un aproximado de 140 movimientos con un costo total de \$3 000.00 M.N. En este caso, utilizando elementos prefabricados, se ocupa el 53.57% del costo requerido en la forma convencional; logrando también una reducción en tiempo al emplear solo la octava parte del tiempo necesario en la construcción tradicional.

Otro caso comparativo es referente a la colocación de zapata, dado y columna, esta con una altura de 3 m para la forma tradicional se ocupan 1 oficiales y 1 peón, durante 8 jornadas, y se efectúan aproximadamente 25 movimientos, junto al costo de material se genera un monto de \$8 200.00 M.N; mientras que en el uso de elementos prefabricados se emplean 1 oficial y 2 peones en un día, efectuando un total de 8 movimientos que junto al costo de los elementos prefabricados, generan un total de \$4 450.00 M.N, lo cual representa un 54.27% del costo en forma tradicional. Los ejemplos anteriores están basados en experiencias profesionales reales.

El Análisis de Tiempos y Movimientos de Elementos Prefabricados en la Construcción durante las fases antes mencionadas se puede caracterizar y sustentar en metodologías convencionales de acuerdo a lo mostrado en las tablas 1, 2 y 3 en función de las fases de modelación, transporte y colocación:

Tabla 1: Metodologías usadas durante la fase de Modelación.

METODO	ALGORITMO(PLAN DE ACTIVIDADES)	ENTRADA	SALIDA
Lógica de la red (plan de proyecto).	Secuencia de proceso lógicamente relacionados entre sí a fin de obtener la solución a un problema planteado.	Cantidades especificadas y asignadas según plan de actividades.	Distribución de tiempos, recursos y prioridades.
Ley de Pareto (herramienta de gestión en la en la distribución).	Define las características críticas a estudiar.	Hoja de datos clasificados en: porcentaje total general y porcentaje acumulativo.	Diagrama de Pareto con: porcentaje acumulativo y número de unidades investigadas.
Redes (Representación de la asignación de eventos, actividades y secuencias de un plan de actividades CPM , PERT)	Determinar qué actividades pueden realizarse inmediatamente después de que se termine la actividad en cuestión.	Lista de actividades, Diseña producto, Fabricar y enseñar prototipo, Preparar red comercial, Planificar para fabricación, Fabricar producto.	Tabla de secuencias Para seguimiento del proyecto, se establecerán flechas o eventos asociados a una revisión del diagrama.
Programa de las tres semanas	Son actividades de la construcción a realizarse en etapas de tres semanas cada una hasta final de la obra a realizar	Son por etapas: Al inicio de cada etapa se fija una meta a realizarse en tres semanas.	En cada etapa hay una finalización de metas cumplidas hasta llegar al final del proyecto

Tabla 2: Metodologías usadas durante la fase de Transporte.

METODO	ALGORITMO(PLAN DE ACTIVIDADES)	ENTRADA	SALIDA
Método de transporte (lineal)	El modelo de transporte busca determinar un plan de traslado de una mercancía de varias fuentes a varios destinos.	Materiales a transportar provenientes de la fábrica	Material puesto en obra
Método de esquina noroeste	Determinar una solución inicial factible al modelo	Agotamiento de suministros en un solo envío inicial	Optimización de entregas con un menor número de envíos.

Tabla 3: Metodologías usadas durante la fase de Colocación.

METODO	ALGORITMO(PLAN DE ACTIVIDADES)	ENTRADA	SALIDA
PERT	Nos permite representar gráficamente las diferentes actividades y nos ayuda a calcular los tiempos de ejecución. (Control de Proyectos.)	Hacer una lista de actividades o tareas. Hacer una tabla de precedencias. Dibujar el diagrama de secuencias.	Medición de resultados contra los estándares preestablecidos,
CPM (Ruta Crítica)	Determinar la duración de un proyecto, donde cada una de las actividades tiene una duración estimada.	Definir el proyecto con todas sus actividades, establecer relaciones.	Control y supervisión de actividades del proyecto.
Curva “ S” hora/hombre y/o costo. Programación en tiempo.	Introducir datos: Concepto de obra, Rendimientos, Costos, Presupuesto, Tiempos.	Especificar parámetros de la curva de aprendizaje.	Gráfica de control y curva real (avance)

Es de suma importancia, no olvidar mencionar que cada método se vale de múltiples herramientas para su máximo aprovechamiento. Hoy en día, el uso de tecnologías de cómputo hace más rápido y confiable este tipo de procesos. Podemos disponer de una amplia gama de software y hardware que por mencionar algunos, se han integrado en las tablas 4 y 5:

Tabla 4: Herramientas usadas durante la fase de modelación.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTA	EJEMPLOS
Diseño	Software CAD para parametrización de sólidos.	DEHA, FreeCAD, TEKLA Structures.
Simulación	Software de recreación virtual de fenómenos físicos y químicos.	ELMER, TEKLA Structures.
Moldeo y vaciado	Software para estimación y control de dosificados.	BAR-DOS

Tabla 5: Herramientas usadas durante la fase de transporte.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTA	EJEMPLOS
Diseño de rutas	Interfaces creadas sobre plataformas de hoja de cálculo para la distribución de tiempos y movimientos, así como software de cartografía.	Microsoft Office Excel, Open Office Calc, Google Earth, Cartegraph.
Control de medios	Uso de GPS para monitoreo de los medios de transporte mediante la revisión de rutas, paradas y desviaciones.	Cartegraph, Google maps, Car Track.

Una de las problemáticas principales en el uso de elementos prefabricados, se deriva de dos fuentes: las licitaciones y la modularización.

La primera se debe a que comúnmente en México, la normativa exige incluir tres proveedores de materiales para la construcción de naves industriales en la fase de licitación, de aquí surge la siguiente fuente; la modularización (establecimiento de parámetros y criterios de diseño para el ensamble de elementos) es deficiente en el manejo de los elementos prefabricados, ya que no se cuenta con protocolos, estándares o normativas que nos permitan disponer de los mismos elementos prefabricados por distintos fabricantes. La falta de modularización implica que el constructor no cumpla con tiempos de entrega establecidos en contratos, además del costo que representa el que no ensamblen entre sí al momento de la colocación, lo cual puede ocasionar que sea necesario efectuar movimientos adicionales. Así mismo, el no contar con un centro de diseño, construcción y distribución de elementos prefabricados en el norte de México, implica transportarlos desde grandes distancias con logísticas deficientes.

Considerando que las actividades y tiempos en la construcción de naves industriales están sujetas a las cláusulas de los contratos y a las condiciones adversas de transportación, infraestructura deficiente y el crecimiento desordenado de estas zonas metropolitanas; en las cuales, se generan riesgos que afectan en tiempos y costo a los proyectos, impactando fuertemente en la reprogramación de movimientos. Este comportamiento aquí caracterizado se relaciona fuertemente con cuestiones que afectan a los proyectos de construcción de naves industriales en las zonas metropolitanas del norte de México en las que los factores de riesgo más relevantes son los siguientes:

1. Actividades Criminales (terrorismo)
2. Conocimiento (ignorancia científica)
3. Constructivo (materiales de pobre calidad, Incertidumbres Geotécnicas).
4. Contratación (documentación incorrecta en el contrato)
5. Cultural (idioma, costumbres, comunicación)
6. Decisiones Políticas.
7. Dirección, Gestión, Administración (Falta de capacidad técnica).
8. Especificaciones Técnicas (diseño)
9. Factores Humanos (Mano de Obra de Bajo Nivel Técnico)

10. Financiero (Inestabilidad económica, cambio de divisas, inflación, etc.)
11. Ingeniería de Detalle (Cambios, Errores, Omisiones, Fallas y Defectos.)
12. Innovaciones del proyecto (improvisaciones)
13. Integración del Presupuesto (sobre y / o sub estimación de costos.)
14. Legales (normas y reglamentos)
15. Plazos de los Programas de Obra (cumplimiento de tiempos del contrato)
16. Presiones Publicas y Privadas (cambios)
17. Requerimientos (fondos de capital, tasa y tarifas oficiales)
18. Seguridad y Servicio
19. Software
20. Tecnológico (Inadecuado uso de la nueva Tecnología)

Los factores antes enlistados requieren de una investigación más a fondo, que nos permita una gestión más efectiva en los proyectos de construcción de naves industriales en zonas metropolitanas. Estos factores y la dinámica de las actividades dentro de la industria de la construcción, no permiten establecer procedimientos o protocolos estándar para la gestión efectiva del riesgo. No obstante, el riesgo se percibe en este escenario, como la presencia de potenciales amenazas y como la exposición a la oportunidad de ocurrencia de eventos adversos o favorables que afectan en la actualidad a los objetivos de los proyectos de construcción de naves industriales en dichas zonas y que son una consecuencia de la incertidumbre que impacta en los tiempos y movimientos de las fases ejecutivas de estos proyectos.

4. Conclusiones

Siendo el análisis de tiempos y movimientos en la construcción de elementos prefabricados una disciplina en desarrollo, requiere de un marco de referencia para jerarquizar el conocimiento sobre tiempos, movimientos así como el riesgo y sus factores de influencia, que permitan la identificación, análisis, control y respuesta apropiados, de estos conceptos dentro de la planeación de naves industriales en zonas metropolitanas.

La responsabilidad del contratista de cumplir en tiempo y forma con lo contratado entre las partes que conforman un proyecto de construcción de naves industriales hará posible mejorar la eficiencia de las estrategias de gestión de tiempos y movimientos en zonas metropolitanas. No obstante, las investigaciones muestran que los contratistas y la propiedad dan mínima atención a los programas de obra y a los riesgos fuera de su propia empresa. Si bien, los propietarios de los proyectos y sus equipos de trabajo deben identificar los eventos potenciales que afectan fuertemente como la modularización de los elementos especiales, logística de transporte, ensamble de los elementos y el riesgo que conllevan estas actividades y que impactan en la programación de los proyectos en tiempo, costo y en la productividad.

Si bien se invierte poco presupuesto y se tiene poca efectividad en el análisis de tiempos y movimientos de los elementos prefabricados, esto genera el aumento de los fracasos para lograr los objetivos del proyecto, ya sea por conocimientos limitados en la aplicación de las

técnicas y métodos de gestión de tiempos y movimientos de los elementos prefabricados como por la deficiente identificación y análisis de los factores de riesgo.

El uso excesivo de software, merma la capacidad cognitiva del usuario y pese a que es una herramienta poderosa en el análisis de tiempos y movimientos, no debe ser tomado como un todo, ya que frecuentemente surgen patologías imprevistas, las cuales no siempre son tomadas en cuenta por el software utilizado o sus diversos algoritmos, ocasionando fallas en la eficiencia en la entrega de elementos prefabricados así como en la planificación, supervisión y objetivos de los proyectos de construcción de naves industriales.

Es importante promover las diferentes áreas de oportunidad que se presentan para el desarrollo de las zonas metropolitanas en las que se considere construir naves industriales, centradas en el desarrollo de clusters de diseño, construcción y distribución de elementos prefabricados ubicados estratégicamente, homologar la modularización entre distintas marcas de fabricantes, proponer lineamientos técnicos y normativas para el crecimiento ordenado y funcional de estas zonas metropolitanas que contemplen espacios, vialidades, infraestructura y servicios acordes a las necesidades de estas zonas en el norte de México.

5. Referencias

- Aguiló Alonso, M. "Prefabricación: Teoría y Práctica". Editores Técnicos Asociados. Barcelona, España 1974.
- Ayala Valentino, Juan Heguel. "Diseño de Elementos Prefabricados". Grupo Constructivo SEPSA, S.A. de C.V. México 2009.
- B. Mendoza, Gregorio. Artículo "Prefabricados: La Importancia del Molde". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. México 2009.
- Buenas Tareas. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Balloon-Frame/4876192>.
- Carriba Quintela, Javier. "Estudio Preventivo de Elementos Prefabricados en la Edificación". Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España 2011.
- Cruz Serrano, Roberto. "Estado del Arte de los Sistemas de Vivienda Prefabricada". Cd. De México, México 2004.
- Díez Hernández, Jesús. "Patología y Rehabilitación Estructural en Prefabricados: Casos prácticos". Tecnalia. España 2012.
- Escrig Pérez, Christian. "Evolución de los Sistemas de Construcción Industrializados a Base de Elementos Prefabricados de Hormigón". Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras a la Ingeniería de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España 2010.
- G y M, Control de Gestión de Proyectos. "Charla de Procedimientos Constructivos Post-Implementación: Estructuras Prefabricadas Pre esforzadas". Lima, Perú 2008.
- Gómez Jáuregui, Valentín. "Industrialización vs Prefabricación". Gremios, periódico de la Construcción, TECNALIA. España 2008.
- Grupo ITISA. <http://www.itisa.mx/jsite/>. México 2013
- Instituto Tecnológico de La Laguna. Servicios Académicos. Asignatura de Investigación de Operaciones. Torreón, Coahuila, México 2013.

Meyers, Fred. "Estudios de Tiempos y Movimientos para la Manufactura Ágil" (2ª Edición). Prentice Hall. Pearson Educación de México, S.A. de C.V. México 2000.

Niebel, Benjamin. "Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño de Trabajo" (11ª Edición). Editorial ALFAOMEGA.

Novas Cabrera, Joel. Tesis de Maestría "Sistemas Constructivos Prefabricados Aplicados a la Construcción de Edificaciones en Países en Desarrollo". Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España 2010.

Suárez Salazar, Carlos. "Costo y Tiempo en Edificación" (3ª Edición) Editorial Limusa. México 2002.