

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**ELABORACIÓN Y COLOCACIÓN DE VIGAS
PRE-ARMADAS COMO ALTERNATIVA DE MEJORA
FRENTE AL ARMADO TRADICIONAL DE VIGAS**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JOSÉ MANUEL ESPINOZA CONISLLA

Lima – Perú

2012

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

Lo que se obtiene con esfuerzo,
siempre será lo más valorado.

Gracias a Dios, a mis padres, a mi familia, a mis amigos y a todos aquellos que participaron directa e indirectamente en la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE

RESUMEN	iv
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I: LA CONSTRUCCIÓN	1
1.1. CRECIMIENTO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN	1
1.1.1. El boom de la Construcción en el Perú	1
1.1.2. La Construcción en el Perú Vive un Boom	4
1.2. ESTADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN NUESTRO MEDIO	5
1.3. LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN COMO SISTEMA	7
1.3.1. Sistemas	7
1.3.1.1. Estado de un Sistema	8
1.3.1.2. Clasificación de Sistemas	9
1.3.1.3. Estudio de Sistemas	9
1.3.1.4. Parámetros de los Sistemas	10
1.3.2. Sistema de Gestión de Proyectos	10
1.3.3. Procesos de Dirección de Proyectos	11
1.3.4. Niveles de Gestión en la Construcción	12
1.3.5. Procesos Repetitivos en la Construcción	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	16
2.1.1. Tipos de Productividad	17
2.1.2. Mejora de la Productividad	18
2.1.3. Índice de Productividad	19
2.1.4. Eficiencia, Efectividad, Eficacia	20
2.1.5. Mejoramiento de la Productividad	21
2.2. PÉRDIDAS EN LA CONSTRUCCIÓN	23
2.3. VARIABILIDAD	25
2.3.1. Importancia de la Variabilidad	26
2.3.2. Clasificación de la Variabilidad	26
2.3.3. Impacto en los Procesos Constructivos	27
2.4. MÉTODO DELPHI	30
2.4.1. Características del Método Delphi	32

2.4.2. Metodología para el Método Delphi	34
2.4.3. Soporte Matemático del Método Delphi	36
2.5. MÉTODO TRIZ	38
2.5.1. Proceso del TRIZ	38
2.5.2. Pasos del TRIZ	39
2.5.3. Niveles del TRIZ	40
2.5.4. Factores Ingenieriles que Podrían Causar Conflicto	40
2.5.5. Principios Inventivos o de Solución	41
2.5.6. El Sistema Sustancia – Campo	45
CAPÍTULO III: SISTEMA DE MEJORA: VIGAS PRE-ARMADAS	47
3.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO	47
3.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	47
3.3. CASOS DE APLICACIÓN	48
3.3.1. Caso 1: Edificio Educativo Universidad del Pacífico	48
3.3.2. Caso 2: Gran Teatro Nacional	52
3.3.3. Caso 3: Edificio Residencial Neo 10	58
3.4. VIGAS PRE-ARMADAS	62
3.4.1. Pre-armado	74
3.4.2. Acero Dimensionado	75
3.4.3. Líneas de Producción en un Sistema a Base de Pre-armados	80
3.4.4. Tiempo y Plazo en un Sistema a Base de Pre-armados	82
3.4.5. Variabilidad de la Mano de Obra	84
3.4.6. Diagrama de Flujo para el Sistema a Base de Pre-armados	85
3.5. APLICACIÓN DEL MÉTODO DELPHI	92
3.5.1. Identificación del Problema	93
3.5.2. Formación del Grupo	94
3.5.3. Diseño del Cuestionario	95
3.5.4. Prueba del Cuestionario	96
3.5.5. Entrega del Cuestionario	97
3.5.6. Análisis de las Respuestas del Cuestionario	100
3.5.7. Recopilación de los Resultados en un Informe Final	107
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	109
4.1. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA	110
4.2. EVALUACIÓN DE LAS ACCIONES DE MEJORA	112
4.3. PROPUESTA DE MEJORA	114

4.3.1. Necesidad de un Planeamiento Enfocado en el Uso de Nuevas Tecnologías	121
4.3.2. Oportunidades de Aplicación de Nuevos Sistemas en Edificaciones	123
4.3.3. Alternativa de Uso de Equipos en Trabajos Difíciles	127
4.3.4. Grúas Torre	130
4.3.5. Planificación de los Trabajos Constructivos con Dos Grúas Torre	142
4.4. ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL SISTEMA A BASE DE PRE-ARMADOS	145
4.4.1. Etapa de Identificación	146
4.4.2. Etapa de Intervención	147
4.4.3. Etapa de Control	153
4.4.4. Cálculo de la Productividad de la Grúa Torre en la Colocación de Vigas Pre-armadas	155
4.4.5. Estimación de Horas Hombre Ahorradas en el Sistema a Base de Pre-armados	157
4.4.6. Comparación de Costos entre el Sistema Tradicional Vs. Acero Dimensionado	159
4.5. ALGUNOS DETALLES A TENER EN CONSIDERACIÓN	159
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	162
5.1. Conclusiones	162
5.2. Recomendaciones	164
BIBLIOGRAFÍA	165
ANEXOS	167

RESUMEN

El origen de proyectos cada vez más complejos y con plazos de ejecución más cortos, obliga al cambio de la forma de trabajo tradicional, con lo cual es necesario buscar nuevas tecnologías que proporcionen mejores índices de productividad en los trabajos a desarrollarse. Una de estas nuevas tecnologías es el empleo de elementos pre-armados.

En la presente tesis se estudia la elaboración y colocación de vigas pre-armadas como alternativa de mejora frente al armado tradicional de vigas en nuestro país. Lo que se busca con el presente estudio, mediante el planteamiento del uso de vigas pre-armadas, es establecer herramientas que nos faciliten la elección de dicho sistema de mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando no sólo un cambio en la forma de trabajo, sino un cambio en la cultura de la construcción.

La razón por la cual se planteó este sistema de elaboración y colocación de vigas pre-armadas fue la necesidad de mejorar el uso de recursos y satisfacer la necesidad de poder cumplir con los plazos establecidos en la programación, logrando mejorar la productividad en los procesos de construcción y aumentando la confiabilidad de los procesos mediante la reducción de la variabilidad y del tiempo de producción.

En el presente estudio, la metodología se apoya en los conceptos del método Delphi y de la metodología TRIZ para identificar, evaluar y proponer lineamientos de mejora a nuestro sistema bajo estudio. Para la ejecución del estudio se procedió a evaluar el sistema de mejora a partir de la recolección de datos. La aplicación del método Delphi, permitió identificar los procesos constructivos con mayor problema o incidencia en nuestro sistema de mejora. El estudio brinda lineamientos de mejora realizados siguiendo la metodología TRIZ, de manera que se pueda aumentar la productividad y calidad del sistema bajo estudio, mejorando el estándar de “no productividad” en los procesos del sistema de mejora.

LISTA DE TABLAS

Capítulo I

Tabla 1.1. Niveles Jerárquicos en la Gestión de la Construcción (Guía del PMBOK®)	14
---	----

Capítulo II

Tabla 2.1. Causas de la Variabilidad (Vitteri, 2008)	25
Tabla 2.2. Características de los Procesos Constructivos (Hopp & Spearman, 2001)	27
Tabla 2.3. Probabilidad de Ocurrencia de un Evento	36
Tabla 2.4. Pasos de la Metodología TRIZ	39
Tabla 2.5. Niveles de las Soluciones	40
Tabla 2.6. Parámetros Ingenieriles	41
Tabla 2.7. Principios Inventivos	42

Capítulo III

Tabla 3.1. Operaciones Relacionadas al Casco Estructural en una Edificación Aportcada (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	63
Tabla 3.2. Agrupación de las Operaciones y parte del Tren de Producción (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	64
Tabla 3.3. Agrupación de las Operaciones (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	65
Tabla 3.4. Normal Tecnológica – Procesos de Colocación (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	65
Tabla 3.5. Lista de Procesos Importantes en el Sistema a Base de Pre-armados (Proyecto Universidad del Pacífico y Neo 10, GyM S.A.)	70
Tabla 3.6. Distribución de Expertos por Categorías	93
Tabla 3.7. Distribución de Interés en Elementos Pre-armados	99
Tabla 3.8. Distribución de Aspectos del Pre-armado de Elementos	100
Tabla 3.9. Distribución de Incidencias de los Procesos en el Pre-armado de Vigas	101
Tabla 3.10. Resumen de Incidencias de los Procesos en el Pre-armado de Vigas	103
Tabla 3.11. Variables para la Aplicación del Método TRIZ	105

Tabla 3.12. Distribución de la Intención de Construcción	105
Tabla 3.13. Procesos con Mayor Incidencia en el Pre-armado de Vigas	107
Capítulo IV	
Tabla 4.1. Niveles de las Soluciones según la Metodología TRIZ	109
Tabla 4.2. Problemas Específicos Identificados	111
Tabla 4.3. Problemas Generales	111
Tabla 4.4. Características Ingenieriles Contradictorias	113
Tabla 4.5. Conversión de Soluciones Generales a Soluciones Específicas	115
Tabla 4.6. Número de Obreros Debajo de una Grúa Torre de acuerdo al Tipo de Uso (GyM S.A.)	128
Tabla 4.7. Costos de Equipos y Equivalentes con el Número de Trabajadores (GyM S.A.)	129
Tabla 4.8. Comparación del Plazo entre el Sistema Estándar con el Sistema Planteado (GyM S.A.)	129
Tabla 4.9. Estadísticas del Número de Grúas Torre (GyM S.A.)	131
Tabla 4.10. Valores de Capacidad de Carga para las Grúas Torre Usadas (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	133
Tabla 4.11. Valores de Capacidad de Carga para las Grúas Torre Usadas (Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)	136
Tabla 4.12. Día Típico – Grúa Torre 1 (Proyecto Universidad del Pacífico y Neo 10, GyM S.A.)	143
Tabla 4.13. Día Típico – Grúa Torre 2 (Proyecto Universidad del Pacífico y Neo 10, GyM S.A.)	143
Tabla 4.14. Análisis del Pre-armado de Vigas frente al Armado Tradicional de Vigas	146
Tabla 4.15. Programación Diaria de las Dos Grúas Torre (Proyecto Universidad del Pacífico y Neo 10, GyM S.A.)	151
Tabla 4.16. Tiempo del Ciclo y Productividad para Vigas Pre-armadas (Etapa de Aprendizaje)	154
Tabla 4.17. Tiempo del Ciclo y Productividad para Vigas Pre-armadas (Etapa de Estabilización)	154
Tabla 4.18. Resumen de los Ratios de Productividad en Vigas (HH/kg)	155
Tabla 4.19. Tiempo del Ciclo y Productividad en la Colocación de Vigas	155

Pre-armadas – Grúa Torre 2

Tabla 4.20. Tiempo del Ciclo y Productividad en la Colocación del Encofrado para Fondo de Viga (3.2mx0.5m) – Grúa Torre 2	156
Tabla 4.21. Productividad en la Colocación del Encofrado para Fondo de Viga (3.2mx0.5m) con Recomendaciones	156
Tabla 4.22. Diferencia de Horas Hombre Empleadas entre Ambos Sistemas	158
Tabla 4.23. Estimación del Costo de Horas Hombre en Ambos Sistemas	158
Tabla 4.24. Comparación de Costos: Sistema Tradicional Vs. Acero Dimensionado	159

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Fig. 1.1. Tasa de Crecimiento del Sector Construcción	2
Fig. 1.2. Sistemas Operativos	8
Fig. 1.3. Gestión de Procesos (Guía del PMBOK®)	11

Capítulo II

Fig. 2.1. Relación entre Eficacia, Eficiencia y Productividad (Serpell, 1993)	21
Fig. 2.2. Ciclo de Mejora Continua de la Productividad (Botero 2004)	22
Fig. 2.3. Flujo de un Proyecto (Formoso 1999)	24
Fig. 2.4. Diagrama que Representa Lotes de Producción y de Transferencia	29
Fig. 2.5. Efecto de la Variabilidad en una Cadena de Procesos (Vitteri, 2008)	29
Fig. 2.6. Aplicaciones del Método Delphi	32
Fig. 2.7. Procesos del Método Delphi	34
Fig. 2.8. Flujograma del Método Delphi	36
Fig. 2.9. Método Simplificado de Interacción en el Método Delphi	37
Fig. 2.10. Proceso del TRIZ	39
Fig. 2.11. Relación entre Sustancias y Campo	45

Capítulo III

Fig. 3.1. Vista Aérea de la Obra Universidad del Pacífico (Google Earth)	49
Fig. 3.2. Vista de la Fachada del Proyecto Universidad del Pacífico	50
Fig. 3.3. Vista Aérea de la Obra Gran Teatro Nacional (Google Earth)	53
Fig. 3.4. Vista de la Fachada del Proyecto Gran Teatro Nacional	54
Fig. 3.5. Hitos Importantes del Proyecto Gran Teatro Nacional	56
Fig. 3.6. Vista Aérea de la Obra Neo 10	59
Fig. 3.7. Vista de la Fachada del Proyecto Neo 10	60
Fig. 3.8. Ciclograma del Piso Típico de la Torre (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	66
Fig. 3.9. Tren de Actividades del Planeamiento para los Sótanos (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	68
Fig. 3.10. Tren de Actividades del Planeamiento para la Torre	69

(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	
Fig. 3.11. Traslado y Colocación de Encofrado para Fondo de Viga	71
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	
Fig. 3.12. Traslado y Colocación del Acero Pre-armado	72
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	
Fig. 3.13. Desenganche del Acero Pre-armado	73
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	
Fig. 3.14. Desencofrado de las Vigas (Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)	74
Fig. 3.15. Servicio de Acero Dimensionado® (Aceros Arequipa S.A.)	75
Fig. 3.16. Planos de Detalle de Instalación de Acero (Acero Arequipa S.A.)	76
Fig. 3.17. Proceso de Fabricación: Cortes y Dobles	77
(Aceros Arequipa S.A.)	
Fig. 3.18. Empaquetado del Acero Dimensionado (Aceros Arequipa S.A.)	78
Fig. 3.19. Línea de Producción Principal y Línea de Producción de Apoyo	81
Fig. 3.20. Duración de las Operaciones entre Ambos Sistemas	83
Fig. 3.21. Plazos de Ejecución entre Ambos Sistemas	84
Fig. 3.22. Pre-armado de Vigas: Atortolamiento de Estribos	89
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	
Fig. 3.23. Almacenamiento de Elementos Pre-armados	89
(Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)	
Fig. 3.24. Izaje de la Viga Pre-armada	91
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	
Fig. 3.25. Cuadro Comparativo de Tiempos para el Pre-armado de Vigas	91
(Navarro, 2010)	
Fig. 3.26. Cuadro Comparativo de la Ocupación del Tiempo	92
Fig. 3.27. Diagrama de Flujo de la Aplicación del Método Delphi	93
Fig. 3.28. Distribución del Grupo de Expertos por Categorías	94
Fig. 3.29. Formato de Escala Empleada N° 1	95
(Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)	
Fig. 3.30. Formato de Escala Empleada N° 2	96
(Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)	
Fig. 3.31. Primera Parte del Cuestionario	98
(Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)	
Fig. 3.32. Segunda Parte del Cuestionario	99
(Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)	

Fig. 3.33. Tercera Parte del Cuestionario (Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)	100
Fig. 3.34. Distribución de Interés en Elementos Pre-armados	101
Fig. 3.35. Distribución de Aspectos del Pre-armado de Elementos	102
Fig. 3.36. Distribución de Incidencias de los Procesos en el Pre-armado de Vigas	105
Fig. 3.37. Distribución de Intención de Construcción	107
Capítulo IV	
Fig. 4.1. Proceso del TRIZ	109
Fig. 4.2. Conversión de Problemas Específicos a Problemas Generales	111
Fig. 4.3. Matriz de Contradicciones	113
Fig. 4.4. Matriz de Contradicciones: Parámetros Ingenieriles y Principios de Solución	114
Fig. 4.5. Pre-armado de Elementos Estructurales (Gran Teatro Nacional)	121
Fig. 4.6. Perspectiva del Gran Teatro Nacional en 3D	124
Fig. 4.7. Simulación BIM – 4D del Proceso Constructivo (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	125
Fig. 4.8. Simulación BIM del Recorrido Virtual (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	126
Fig. 4.9. Traslado de Encofrados con Grúas Torre (Gran Teatro Nacional)	129
Fig. 4.10. Esquema de las Características de la Grúa Torre MC 115 (POTAIN, 2004)	131
Fig. 4.11. Esquema de las Características de la Grúa Torre MC 85 (POTAIN, 2003)	132
Fig. 4.12. Grúas Torre MC 115 y MC 85 (Proyecto Universidad del Pacífico)	133
Fig. 4.13. Esquema de las Características de la Grúa Torre PC 1400 (Morrow Equipment Co.)	134
Fig. 4.14. Esquema de las Características de la Grúa Torre SK 135 (Morrow Equipment Co.)	135
Fig. 4.15. Grúas Torre PC 1400 y SK 135 (Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)	136
Fig. 4.16. Vista de la Distribución de Alturas de las Dos Grúas Torre (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	137

Fig. 4.17. Desfase de Altura entre las Dos Grúas Torre (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	138
Fig. 4.18. Vista de la Distancia entre las Dos Grúas Torre (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	139
Fig. 4.19. Distancias de Seguridad para el Emplazamiento de las Grúas Torre (NTP 125: Grúas Torre, España)	140
Fig. 4.20. Vista de las Zonas de Carga de las Grúas Torre (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	143
Fig. 4.21. Organizador de Acero Proporcionado por Aceros Arequipa S.A. (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	147
Fig. 4.22. Instalación de Vigas Pre-armadas (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)	148
Fig. 4.23. Charlas de Seguridad Antes de Iniciar la Jornada Laboral (Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)	151
Fig. 4.24. Equipos de Protección de Uso Obligatorio en Obra (Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)	152

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la construcción se encuentra cada vez más en búsqueda de mejores índices de productividad y avanza a pasos agigantados en el logro de ella. Es así que surge la necesidad de buscar nuevas tecnologías que nos ayuden a mejorar el nivel de productividad y ser más competitivos. Una de estas nuevas tecnologías es el empleo de elementos pre-armados.

En este sentido, el presente estudio tiene por objetivo proponer lineamientos de mejora en la elaboración y colocación de vigas pre-armadas, con la finalidad de establecer herramientas que nos faciliten la elección de dicho sistema de mejora frente al sistema tradicional de armado, buscando no sólo un incremento del nivel de productividad y calidad, sino un cambio en la cultura de la construcción.

El contenido del presente estudio se encuentra dividido en cinco capítulos, los cuales se resumen del siguiente modo:

El Capítulo I: "La Construcción", muestra algunos conceptos en lo referente a cómo es la construcción en nuestro medio, su evolución y el crecimiento que viene presentando en los últimos años.

El Capítulo II: "Marco Teórico", presenta y comenta los conceptos de productividad y pérdidas en la construcción. Se exponen también las metodologías Delphi y TRIZ, en las cuales la investigación se apoyará con el fin de evaluar y proponer medidas de mejora para nuestro sistema bajo estudio.

En el Capítulo III: "Sistema de Mejora: Vigas Pre-armadas", se argumentan los procedimientos seguidos para que se lleguen a ejecutar las actividades por el mejor camino posible y se describen las principales características de los proyectos analizados. Se incluye además la aplicación del método Delphi, la cual posibilita conocer los procesos constructivos con mayor incidencia en la elaboración y colocación de vigas pre-armadas, que nos van a permitir hacer una evaluación y análisis en el cuarto capítulo bajo la metodología TRIZ.

En el Capítulo IV: "Evaluación y Análisis de Resultados", se mencionan las propuestas de mejora y se realizan los cálculos necesarios, con la finalidad de que se realice un análisis de la productividad del sistema bajo estudio antes y después de la etapa de intervención. Este capítulo contiene la aplicación práctica de la metodología TRIZ.

Finalmente, en el Capítulo V, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio, parte que se origina al finalizar toda la investigación.

CAPÍTULO I: LA CONSTRUCCIÓN

Antes de presentar el desarrollo del estudio realizado, es necesario tener en cuenta algunos conceptos en lo referente a cómo es la construcción en nuestro medio, cómo es que ha ido evolucionando y también del crecimiento que viene presentando.

1.1. CRECIMIENTO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN

El sector construcción en el país se ha ido desarrollando paulatinamente en el transcurrir del tiempo, teniendo sus altibajos de acuerdo a la marcha de la economía del país; pero en los últimos años el sector construcción muestra un incremento marcado en las obras producidas debido al desarrollo que presenta el país.

1.1.1. El Boom de la Construcción en el Perú¹

El Perú vive desde fines de la última década del siglo XX un sostenido crecimiento de la construcción, impulsado por el aumento de los ingresos económicos de los hogares, las mayores inversiones públicas y privadas, ambas consecuencia directa del crecimiento económico y, asimismo, por la mejora de las condiciones de financiamiento para la adquisición de viviendas públicas. Se trata, sin duda, del duradero boom del sector inmobiliario peruano, cuyo epicentro es Lima y sus replicas en menor escala en otras ciudades del interior como Arequipa, Trujillo, Chiclayo, Piura, Ica, Huancayo, Cajamarca, Huaraz, entre otras.

El Porqué del Crecimiento Inmobiliario

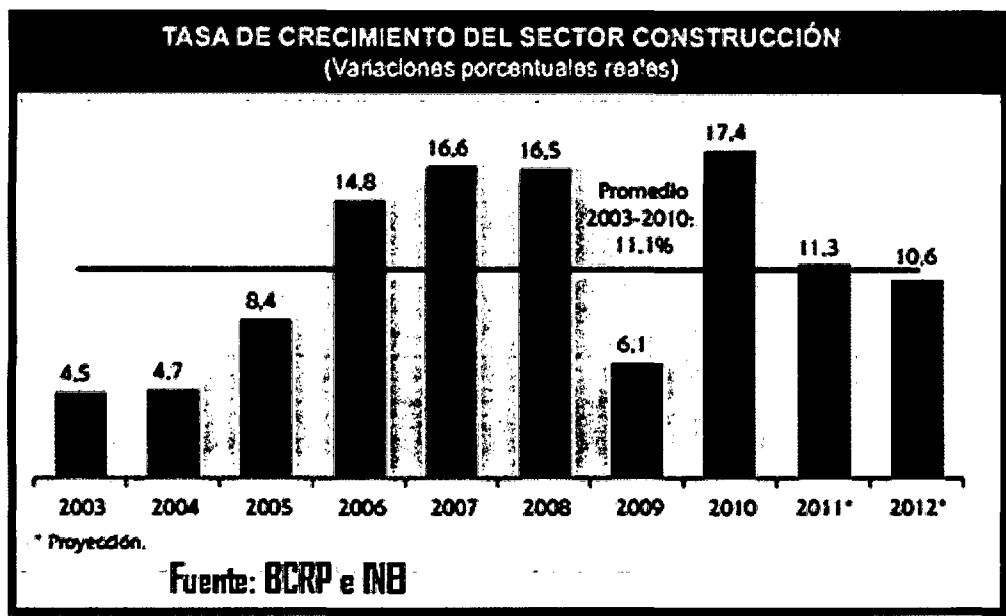
Aparte de la minería, la construcción en el Perú se ha convertido en uno de los sectores más dinámicos de la economía. Sin duda, en su crecimiento influyen la expansión de la demanda interna como consecuencia del aumento de la

¹ HUERTA BERRIOS, Enrique. "El Boom de la Construcción en el Perú". ECONOBLOGNET: Noticias, Artículos y Videos de Economía y Política del Perú y del Mundo. Perú, 2012.

población y el crecimiento de la economía, asimismo por el aumento de la inversión privada, bien secundada por la pública.

El sector construcción crece a tasas superiores al 10%, vale decir a ritmos mayores que la tasa de crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI) global. Tal es así que desde el 2006 creció en más del 14% anual, excepto en el 2009 cuando cayó al 6% causado por la crisis financiera internacional, pero inmediatamente se recuperó hasta alcanzar en el 2010 una tasa superior al 17%. Los años subsiguientes continuó creciendo, aunque con menor velocidad, tal como se puede corroborar en las estadísticas oficiales del INEI y del BCRP.

Fig. 1.1: Tasa de Crecimiento del Sector Construcción (BCRP e INEI)



En el crecimiento sectorial destacan las obras relacionadas con la edificación de viviendas y centros comerciales, favorecidos por las condiciones de acceso al financiamiento a través de créditos hipotecarios promovidos por el Estado y otras fuentes privadas del sistema financiero.

En los últimos años se construyeron, ampliaron o mejoraron decenas de miles de viviendas en el país. Algo notable en el boom constructivo es que la mayor demanda de viviendas responde al creciente número de familias que tienen relativamente mayores ingresos económicos y por tanto capacidad de adquirir

créditos hipotecarios, asimismo, a que las tasas de interés y las cuotas les resultan asequibles.

La edificación destinada a la clase media y media alta de la población se orienta principalmente a edificios de departamentos, implantadas en edificios multifamiliares donde predominen los departamentos de 3 ambientes. Pero lo que opera como dinamizador del crecimiento de la construcción es el número de proyectos habitacionales destinados principalmente a la clase media baja y baja que se está incrementando de manera muy importante, gracias a la actuación de programas de vivienda populares como Mi Vivienda, Techo Propio, entre otros.

Según el Marco Macroeconómico Multianual 2011–2013, se espera que el dinamismo del sector construcción se manifieste en un crecimiento superior a una tasa de 10% durante el período, a la par con el incremento de la inversión privada. No cabe duda de que el boom de la construcción en nuestro país está en marcha y su dinamismo se siente por doquier. En adelante se estima que el crecimiento y el potencial del mercado inmobiliario en Perú seguirán progresivamente abriendo una importante vía a inversiones financieras internas y de otros países vecinos. Se avizora así la consolidación del sector inmobiliario en el Perú.

El boom de la construcción continúa firme y esta actividad crecería en 15.6% al cierre del 2010, manifestó un informe del Instituto de Economía y Desarrollo Empresarial (IEDEP) de la Cámara de Comercio de Lima (CCL). “Desde el año 2006 el sector construcción es uno de los que más crece en el país. El dinámico desempeño de este sector lo convierte en uno de los principales impulsores del avance del Producto Bruto Interno (PBI) nacional este año”.²

De acuerdo con el informe del IEDEP, la construcción crecería 15.6% al cierre de 2010, impulsado por el mayor dinamismo mostrado en el primer semestre cuando avanzó 19.2%, y a pesar de un leve retroceso que mostraría el sector en la segunda parte del año con 11.9%. Esta tasa se ubicaría entre los niveles

² Publicaciones de la Constructora MCD S.A.C. Perú. “Principal > News > El Boom de la Construcción”. Lima, Perú, 2011.

registrados en 2006 (14.8%) y 2008 (16.5%), puntualizó el IEDEP de la CCL. Recordó además que sólo entre enero y julio del 2010 el sector creció 18.1%, lo que significó 15.5 puntos porcentuales más que en similar período del año anterior, en el que la tasa registrada fue de 2.6%. Asimismo, refirió que el crédito hipotecario se incrementó en 16.3% a julio del 2010, luego de que registrara una caída importante de 9.4% en diciembre de 2009. Cabe mencionar que los mayores picos de este indicador se registraron en diciembre de 2008, con 40.3%, y en julio de 2009, con 33.7%.

1.1.2. La Construcción en el Perú Vive un Boom³

El “boom” de la industria de la construcción invade Perú con cientos de edificios, negocios y tiendas que son edificadas en tiempo récord, con lo que el Perú ha ingresado a una etapa de modernización pese a la crisis. Datos de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) indican que en el último año se utilizaron siete millones 166 mil 144 toneladas métricas de cemento, casi un millón más que en 2008. En 2009 se documentaron unos cien mil títulos en el registro predial urbano de Lima y provincias con una oferta inmobiliaria de edificaciones nuevas del orden de los cuatro millones de metros cuadrados de construcción. Aunque la crisis financiera ha significado una baja de las remesas de los peruanos residentes en el exterior, que cada año enviaban dos mil 500 millones de dólares a lo cual se suma la restricción de préstamos bancarios, la construcción ha seguido su marcha creciente. Se estima que cada millón de dólares invertidos en el sector construcción genera 90 nuevos puestos de trabajo, lo que llevó el año pasado al Estado peruano a lanzar el Plan de Estímulo Económico para construir escuelas, puentes, carreteras y presas.

Datos oficiales (INEI) indican que el sector construcción se consolidó como el motor de la economía en 2009 y su crecimiento fue de 3.85 %, lo que lo transformó en uno de los sectores que marcó el ritmo de la economía en general. Pese a la situación financiera adversa que paralizó muchas obras se prevé que

³ Publicaciones del Portal Amarengo: Arquitectura, Construcción, Urbanismo y Arte Peruano. “Principal > Linkarqs de Amarengo > Industria de la Construcción en el Perú vive un Boom”. Lima, Perú, 2010.

el sector construcción crecerá a 5.1 % en 2010. El porcentaje de avance de las inversiones públicas en el Plan de Estímulo Económico se estima, habría alcanzado un 60 % de ejecución durante 2009 y se prevé que el año 2010 concluya con una fuerte agenda de inversiones. De acuerdo a las proyecciones de CAPECO, 2010 es un período de grandes inversiones en todos los sectores relacionados con la infraestructura⁴: minería, transporte, puertos, industrias de gas, entre otros.

El sector construcción registrará un crecimiento de 12% durante el primer trimestre del 2011, y al cierre del año el crecimiento llegará a 10%, estimó el banco Scotiabank. Señaló además que la proyección de crecimiento del primer trimestre supone que el consumo interno de cemento alcance un promedio de 750 mil toneladas métricas, comparada con las 653 toneladas que se consumieron en el mismo período del 2010. Asimismo, las empresas constructoras continuarán orientándose a atender las obras demandadas por el sector privado (dos terceras partes del total), tal como lo muestra la última encuesta a empresas del sector construcción realizada por el Banco Central de Reserva (BCR) en octubre del 2010.

1.2. ESTADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN NUESTRO MEDIO⁵

Actualmente, podemos decir que casi la totalidad de las empresas constructoras en nuestro medio mayormente no conceptualizan a la construcción como una industria. Es por esto que se presentan los siguientes problemas:

- ✓ La construcción no es vista como una industria.
- ✓ Una alta innovación tecnológica en materiales y equipos de construcción, los cuales no son aprovechados al máximo.

⁴ En el 2010 la brecha de infraestructura ascendía a \$ 37.8 mil millones, lo que da a notar que pese al crecimiento del sector construcción, la brecha de infraestructura sigue creciendo, aunque se estima que podría cerrarse recién en un período de 10 años.

⁵ Copias de clase del Ing. José Luis Vitteri Sarmiento. "Calidad en la Construcción". Departamento Académico de Construcción UNI-FIC. Lima, Perú, 2008.

- ✓ La evolución de los procedimientos constructivos es casi nula, por ello es que se presenta en el estudio realizado una manera distinta de realizar un procedimiento constructivo y, mediante la Teoría de Solución de Problemas de Invenciones (TRIZ), se ha buscado mejorar este procedimiento, de acuerdo al concepto de la búsqueda del "sistema ideal", presente en la metodología TRIZ.
- ✓ La ausencia de sistemas de medición pro-activos que nos ayuden a tomar medidas correctivas, ya que los sistemas de medición usados no reflejan la realidad, o bien no son interpretados adecuadamente.
- ✓ La calidad no es vista como un objetivo, de nada sirve avanzar muy rápido si es que el trabajo está mal hecho.

Lo importante es que hay que tratar de cambiar estos paradigmas, los cuales han venido subsistiendo durante años. Una vez que se consiga esto los procedimientos serán optimizados y la construcción fluirá considerando una variabilidad mínima.

Entonces, ¿por qué es que la construcción no es vista como una industria? A continuación se muestran algunas razones del por qué.

- ✓ Concepto erróneo de la construcción, ya que no es vista como una industria.
- ✓ Organización vertical del proyecto, por ello la comunicación se hace lenta.
- ✓ Inadecuado Planeamiento – Ejecución, ya que el planeamiento se realiza por actividad, considerando a cada una de ellas de forma aislada y sin interdependencias.
- ✓ Desconocimiento de la variabilidad, generalmente no se percibe ni estudia el efecto que ésta tiene sobre la actividad en análisis.

- ✓ Transmisión y manejo del conocimiento, ya que no es visto como una responsabilidad en la mayoría de las empresas.

Cabe mencionar que no necesariamente todas estas causas se presentan en todas las empresas. Sin embargo, al presentarse, dificultan el hecho de que la construcción sea vista y concebida como una *industria*.

1.3. LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN COMO SISTEMA

“Un *proyecto* es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. *Temporal* significa que cada proyecto tiene un comienzo definido y un final definido. El *final* se alcanza cuando se han logrado los objetivos del proyecto o cuando queda claro que los objetivos del proyecto no serán o no podrán ser alcanzados. La presencia de elementos repetitivos no cambia la condición fundamental de único en el trabajo de un proyecto”.⁶

Primeramente, es necesario tener en cuenta algunos conceptos en lo referente a cómo son los sistemas y su estado, la clasificación que presenta, el estudio de sistemas y sus parámetros. Es por esto que primero, se tratarán algunas definiciones básicas de sistemas para luego tratar *los proyectos de construcción como sistema*.

1.3.1. Sistemas

El término de sistema se utiliza habitualmente con múltiples sentidos, tantos que resulta difícil dar una definición única que englobe a todos y al mismo tiempo sea lo suficientemente precisa para servir a propósitos específicos. Podemos partir de la siguiente definición:

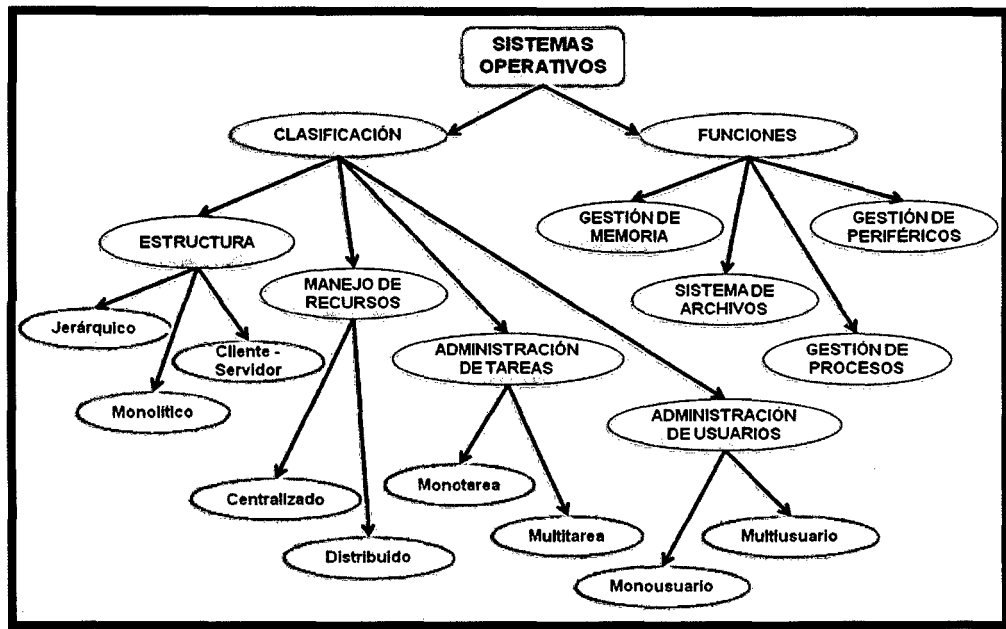
Sistema es un todo organizado y complejo; un conjunto o combinación de cosas o partes que forman un todo complejo o unitario. Es un conjunto de objetos

⁶ Guía del PMBOK®. “Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos”. Tercera Edición Project Management Institute. EEUU, 2004.

unidos por alguna forma de interacción o interdependencia. Los límites o fronteras entre el sistema y su ambiente admiten cierta arbitrariedad. "Sistema es un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas. De ahí se deducen dos conceptos: propósito (u objetivo) y globalismo (o totalidad)".⁷

"La representación de un Sistema es una gráfica o diagrama de flujo que se forma con los elementos y las relaciones entre ellos, donde los elementos de un sistema pueden llamarse *nodos*, *componentes*, *operaciones*, *vértices*, entre otros, y que se relacionan entre sí".⁸ En la figura 1.2 se muestra una ilustración de sistemas operativos.

Fig. 1.2: Sistemas Operativos



1.3.1.1. Estado de un Sistema

Describe el sistema en cualquier momento temporal donde cada una de las variables necesarias que caracterizan el sistema y que están debidamente determinadas reciben el nombre de *variables de estado*.

⁷ VON BERTALANFFY, Ludwig. "Teoría General de Sistemas". Petrópolis, Vozes. 1976.

⁸ LILIENTELD, Robert. "Teoría de Sistemas. Orígenes y Aplicaciones en Ciencias Sociales". Editorial Trillas. México, 1991.

1.3.1.2. Clasificación de Sistemas

- ✓ Sistemas discretos: Son aquellos en los que sus variables de estado cambian en un conjunto de instantes de tiempo contable (finito o infinito numerable).
- ✓ Sistemas continuos: Son aquellos en los que sus variables de estado cambian de manera continua a lo largo del tiempo.

1.3.1.3. Estudio de Sistemas

Los sistemas se estudian de dos formas:

- i. Realizando experimentos sobre el sistema: Estos experimentos solo pueden realizarse cuando es posible alterar sus condiciones de funcionamiento del sistema; esta solución no es aplicable cuando el costo de modificación resulta muy elevado.
- ii. Realizando experimentos sobre un modelo del sistema: Se entiende como modelo a la representación de un sistema construido con el propósito de estudiarlo; normalmente se clasifican en: *Modelos Físicos* que son muy usados en la industria aeronáutica y de automóvil, en la ingeniería hidráulica, en los laboratorios de ensayos de estructuras, en edificaciones, entre otros. Pero en general y dada la naturaleza del problema, este tipo de modelos tiene poco uso en el análisis de sistemas. Por otro lado están los *Modelos Matemáticos*, estos modelos representan un sistema mediante un conjunto de relaciones cuantitativas y lógicas entre sus componentes, permitiendo observar cómo se comporta el modelo del sistema cuando cambia alguno de sus componentes.

Si el modelo es suficientemente sencillo, es posible obtener una solución analítica que relaciona las magnitudes de interés. Sin embargo, la elevada complejidad de muchos sistemas reales imposibilita la obtención de modelos suficientemente ajustados con soluciones analíticas o en caso de obtenerlas, la carga computacional que conllevan desaconseja

su uso. En este último caso el modelo debe estudiarse de forma aproximada recurriendo a una *simulación analítica* que supone analizar totalmente el modelo del sistema y obtener una solución que tendrá validez para todo momento y para obtener cualquier parámetro de interés. La *simulación* recrea una o varias evoluciones temporales del modelo con el fin de estimar un conjunto de parámetros. Los modelos de simulación son modelos matemáticos que permiten obtener una estimación del comportamiento del sistema para una configuración determinada.

1.3.1.4. Parámetros de los Sistemas

Estos parámetros son constantes arbitrarias que se caracterizan por sus propiedades, el valor y la descripción que puede dar de un sistema específico o de un componente del sistema.

Los elementos de los sistemas son los siguientes:

- ✓ Entrada: Es la fuerza de arranque o de partida del sistema.
- ✓ Proceso: Es el mecanismo de conversión de las entradas en salidas.
- ✓ Salida: Es la finalidad para la cual se reunieron elementos y relaciones del sistema.
- ✓ Retroalimentación: Es la función del sistema que tiende a comparar la salida con un criterio o un estándar previamente establecido.
- ✓ Ambiente: Es el medio que envuelve externamente el sistema.

1.3.2. Sistema de Gestión de Proyectos

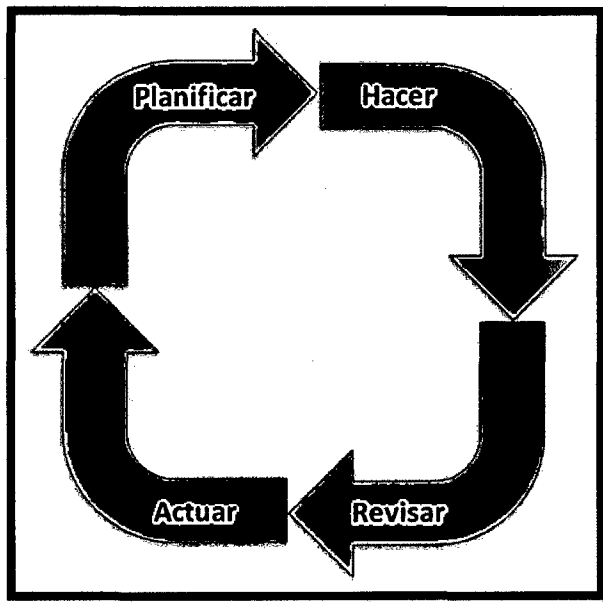
El sistema de gestión de proyectos es el conjunto de herramientas, técnicas y metodologías, recursos y procedimientos utilizados para administrar un proyecto.

1.3.3. Procesos de Dirección de Proyectos

La dirección de proyectos se logra mediante la ejecución de procesos, usando conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas que reciben entradas y generan salidas.

Los objetivos de un proyecto deben cumplirse sobre la base de la complejidad, el riesgo, el tamaño, el plazo, la experiencia del equipo del proyecto, el acceso a recursos, la cantidad de información histórica y el área de aplicación. Un ciclo subyacente a la interacción entre los procesos de dirección de proyectos es el ciclo planificar-hacer-revisar-actuar. Este ciclo está vinculado por los resultados, es decir, el resultado de una parte del ciclo se convierte en la entrada de otra. En la figura 1.3 se muestra una ilustración de la gestión de procesos.

Fig. 1.3: Gestión de Procesos (Guía del PMBOK®)



El diagrama de flujo de procesos ofrece un resumen general de las interacciones y del flujo básico entre los Grupos de Procesos. Un proceso individual puede definir y restringir la forma en que se usan las entradas para producir las salidas de ese grupo de procesos. Un grupo de procesos incluye los procesos de dirección de proyectos que están vinculados por las respectivas entradas y salidas.

1.3.4. Niveles de Gestión en la Construcción

Los niveles de gestión dentro de la construcción pueden ser identificados como se muestra en la tabla 1.1 y ellos son: *Organizacional*, está relacionado con la estructura legal y comercial de la empresa, las diferentes áreas de gerenciamiento y la interacción entre la oficina central y los agentes de campo, en la interpretación de las funciones administrativas como almacén, flujo de caja, entre otras, de cada proyecto. Luego de este nivel, viene el *Proyecto*, que está relacionado con la descomposición del proyecto con el propósito de controlar tiempo y costo. A continuación se tiene lo que se denomina *Actividad*, que es un tiempo y recurso consumido para un elemento del proyecto controlado en función del tiempo y del costo, ya sea por un planificador o un ingeniero de costos. Una actividad es única y debe ser finalizada una vez, sin embargo, ésta culminación puede requerir el desarrollo repetitivo de un número de operaciones o procesos, algunos de los cuales pueden ser únicos para esta actividad. Las actividades representan una porción significativa del proyecto y tienen una duración definida (días, semanas o meses).

El siguiente nivel jerárquico lo constituye la *Operación y Proceso* que está ligado a la tecnología y el detalle de cómo se comporta la construcción, el mismo que focaliza en el trabajo a nivel de campo. Usualmente una operación de construcción es tan compleja que abarca varios procesos distintos, cada cual tiene su propia tecnología y secuencia de tareas de trabajo. Sin embargo, para situaciones simples que envuelven un solo proceso, los términos son sinónimos. La distinción entre una actividad y una operación está firmemente relacionada con la duración de la función.

La operación es sin embargo mucha más fundamental para un entendimiento de los métodos de campo. Algunas veces un microanálisis de una operación o proceso de construcción es útil y es emprendido en el campo cuando un proceso altamente repetitivo es requerido para un trabajo de gran magnitud.

Un proceso de construcción está definido como una colección única de tareas de trabajo relacionadas entre ellas a través de una secuencia y estructura tecnológica, la cual emplea insumos con el fin de darles valor agregado y crear

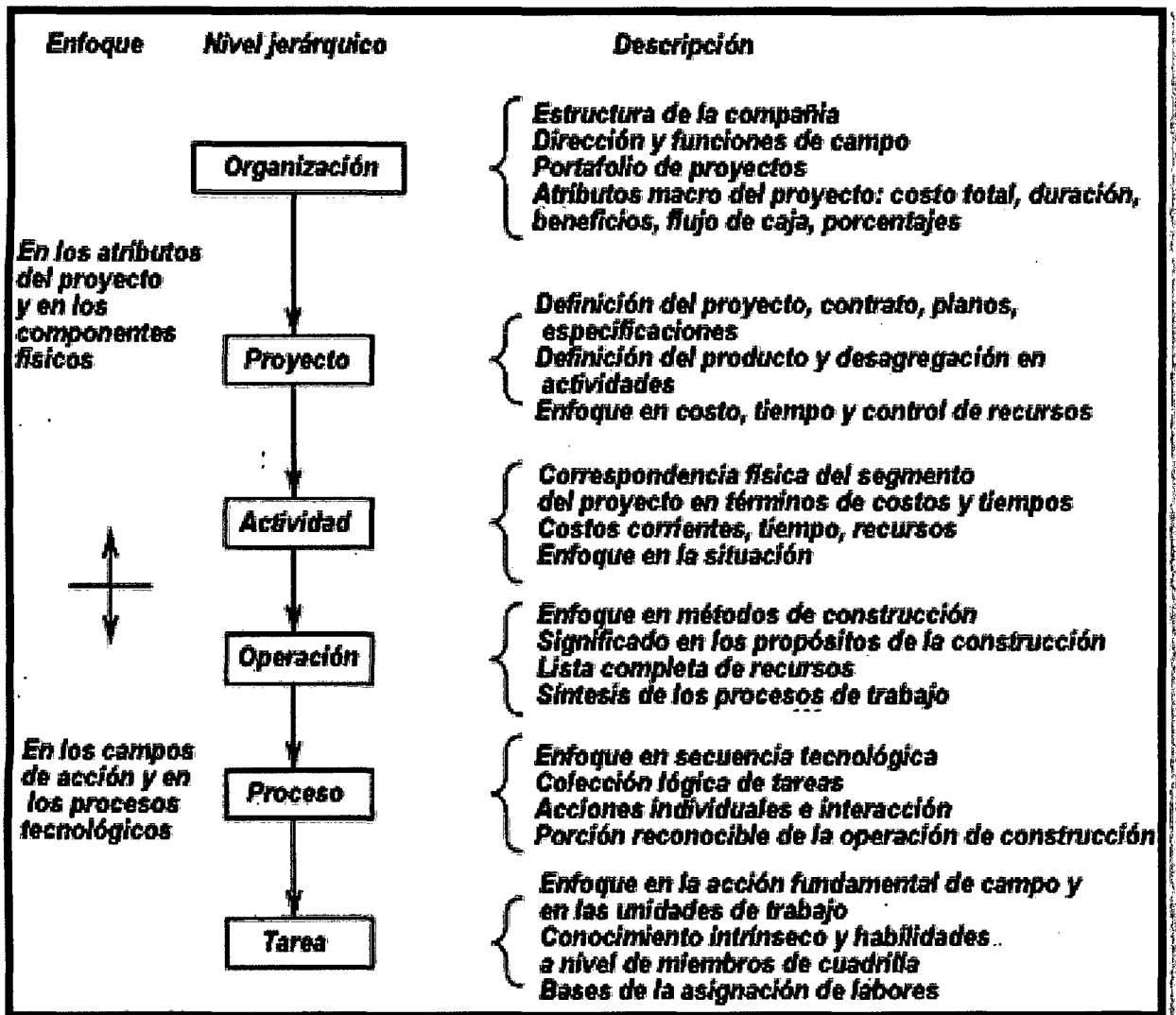
un producto nuevo que será suministrado a un cliente externo o interno. El tiempo de duración de un ciclo básico en una operación de construcción puede ser medido en días o en horas. Por último en los niveles de gestión, las *Tareas* están relacionadas con la identificación y asignación de porciones elementales de trabajo para los agentes de campo. Una tarea de trabajo es la unidad de descripción básica en la práctica de la construcción.

Si una tarea de trabajo es descompuesta en sus componentes, las consideraciones del factor humano o el detalle de los movimientos estarían involucrados, lo que significaría un microanálisis de movimientos y acciones. Las tareas de trabajo son por consiguiente los bloques de construcción base de los procesos y operaciones. Un asignamiento de trabajo es la colección de tareas de trabajo específicamente asignadas a un miembro del equipo para su desempeño.

La tabla 1.1 muestra una descripción sobre cada uno de los niveles jerárquicos que existen en la gestión de la construcción, teniendo referenciado claramente dos etapas, la primera va desde la organización, seguido por el proyecto y la actividad y corresponde a los atributos del proyecto y en los componentes físicos; es decir, lo que se refiere a la parte de factibilidad del proyecto, como el costo total del proyecto, duración, beneficios, el contrato, los planos, los recursos, entre otros.

En la segunda etapa se muestran la parte que es desarrollada en el campo de acción y es referida a los procesos tecnológicos que van desde la operación, seguido por el proceso y terminando en las tareas que se dan a cada cuadrilla para la realización de la obra. En esta etapa se tocan los métodos de construcción, colección lógica de tareas, interacciones, asignación de labores, entre otras.

Tabla 1.1: Niveles Jerárquicos en la Gestión de la Construcción
(Guía del PMBOK®)



1.3.5. Procesos Repetitivos en la Construcción

Los procesos repetitivos usualmente dependen de una repetición de tareas, requerida para producir una parte final del proyecto. Un proceso no cíclico sería una secuencia única, que no es repetitiva. La colocación de una caldera grande es un proceso no repetitivo. Por otro lado, la colocación de losas de suelo en un rascacielos, tiende a ser de naturaleza repetitiva.

Los proyectos que evidencian una naturaleza lineal con frecuencia dependen de ciclos o secuencias repetitivas de trabajo. Ejemplos típicos son la pavimentación de caminos, la construcción de un túnel, colocación de paneles prefabricados en

rascacielos, etc. Claramente, la repetición es deseable porque lleva a la eficiencia en la utilización del recurso.

En la industria manufacturera, la piedra angular de la producción en masa es la secuencia repetitiva del trabajo a ser utilizado. Esto basado en la estandarización del producto a ser creado. La estandarización y la modulación son conceptos históricamente muy conocidos para los materiales de construcción (ejemplo: ladrillos y bloques, paneles dry wall). "El concepto de estandarización para lograr la repetitividad es la base del costo-eficiencia en la construcción, lo cual también lleva a obtener altos estándares de calidad. Así se puede definir el *Tiempo de ciclo del proceso* que es la cantidad total de tiempo que se requiere para completar el proceso",⁹ y a su vez, el tiempo de ciclo del proceso es considerado como una medida de la eficiencia y defínase eficiencia como: "la capacidad de disponer de alguien o algo para conseguir un efecto determinado".¹⁰

⁹ HARRINGTON, H.J. "El Proceso de Mejoramiento. Cómo las Empresas Punteras Norteamericanas Mejoran la Calidad". Quality Press, Wiscosin. USA, 1991.

¹⁰ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. "Diccionario de la Lengua Española". 22º Edición.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta y comenta los conceptos de productividad y pérdidas en la construcción. Se exponen también las metodologías Delphi y TRIZ, en las cuales la investigación se va a apoyar para evaluar y proponer medidas de mejora a nuestro sistema bajo estudio.

2.1. PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

En términos simples, la productividad es la relación entre los recursos empleados y el trabajo producido en obra. Dentro de la bibliografía acerca de la definición de productividad en la construcción, existen muchas definiciones, así por ejemplo se puede mencionar que:

La Revista Bit (2001), define a la productividad como la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerla. Estos recursos productivos incluyen, el factor trabajo, capital y otros insumos como la tierra, energía, materias primas e incluso, la información.

El Manual de Gestión de Proyectos de la empresa constructora GyM S.A. define *productividad* como la *eficiencia* en el uso de los *recursos*. Resultado de un flujo productivo continuo, una buena programación, una alta confiabilidad y la optimización de los recursos utilizados en los procesos constructivos.

En construcción, toda actividad es susceptible a mejoras ya desde el inicio del proyecto o durante su ejecución. Es así como, todo estudio de productividad se enfoca en reducir los tiempos improductivos, interferencias, uso inadecuado de equipos, etc.

El criterio básico para la realización de un estudio de productividad en los proyectos de ingeniería, debe incluir lo siguiente:

- i. *Realizar un seguimiento en campo del proceso productivo, recogiendo algunos datos como:*
 - Secuencia real que sigue el proceso constructivo en análisis.

- Tiempos improductivos del personal obrero.
 - Opiniones y sugerencias del personal obrero respecto a las causas de demoras.
 - Grado de utilización de los equipos.
 - Principales problemas observados que paralizaron los trabajos.
 - Esquema de distribución del personal de equipos.
- ii. *Analizar con mayor detalle los problemas detectados, mediante un Estudio de Tiempos o Medición del Trabajo. Con este análisis se podrá cuantificar la magnitud de las pérdidas y de las oportunidades.*
- iii. *Proponer alternativas de mejora y probarlas.*

2.1.1. Tipos de Productividad

Considerando los distintos tipos de recursos, y de acuerdo a la definición de productividad, está se puede clasificar en:

- ✓ *Productividad de los materiales (cantidad consumida/avance):* En la construcción es importante la buena utilización de los materiales, evitando todo tipo de pérdidas.
- ✓ *Productividad de la mano de obra (hh/avance):* Es un factor crítico, ya que es el recurso que generalmente fija el ritmo de trabajo en la construcción y del cual depende en gran medida la productividad de los otros recursos.
- ✓ *Productividad de la maquinaria (hm/avance):* Este factor es importante por el alto costo de los equipos, siendo por lo tanto muy importante evitar pérdidas en la utilización de este tipo de recursos.

Además, se puede inferir de estas definiciones que, mientras menor sean los indicadores de productividad (h recurso/avance), más productivo será el proceso bajo análisis.

La suma de todas estas productividades es conocida como productividad de la gestión, la cual es expresada en unidades monetarias invertidas, por ejemplo S./avance.

En este caso, no podemos decir que un menor indicador indica una mejor productividad, ya que habría que comparar los S/. invertidos respecto a los S/. valorizados para el avance realizado. Manteniendo la variable avance fija (CeterisParibus¹¹); si es que el primero es menor que el segundo, quiere decir que el indicador obtenido es mejor al previsto.

Esto es posible de obtener si es que en el primer caso, se controlan las pérdidas materiales; en el segundo, si es que se consiguen mejorar los procesos para de esta manera finalmente obtener indicadores de productividad menores (menor uso de hh) y en el tercero, de manera similar al segundo caso, sólo que controlando las horas máquinas.

2.1.2. Mejora de la Productividad¹²

La mejora de la productividad se obtiene innovando en los siguientes aspectos:

- ✓ *Tecnología:* Es el conjunto de conocimientos técnicos, ordenados científicamente, que permiten diseñar y crear bienes o servicios que facilitan la adaptación al medio y satisfacen las necesidades de las personas.
- ✓ *Organización:* Son sistemas sociales diseñados para lograr metas y objetivos por medio de los recursos humanos o de la gestión del talento humano y de otro tipo.

¹¹Término en latín usado en el análisis económico para variar un factor mientras que el resto de factores se mantiene constante.

¹²MERTENS, Leonard. "La Medición de la Productividad como Referente Ente de la Formación-Capacitación". Boletín N° 143 Productividad y Formación. Uruguay, 1998.

- ✓ *Recursos Humanos:* Se denomina así al trabajo que aporta el conjunto de los empleados o colaboradores de esa organización.
- ✓ *Relaciones Laborales:* Son aquellas que se establecen entre el trabajo y el capital en el proceso productivo.
- ✓ *Condiciones de Trabajo:* Es un área interdisciplinaria relacionada con la seguridad, la salud y la calidad de vida en el empleo.
- ✓ *Calidad:* Puede definirse como la conformidad relativa con las especificaciones, a lo que al grado en que un producto cumple con las especificaciones del diseño, entre otras cosas, mayor su calidad o también como comúnmente es encontrar la satisfacción en un producto cumpliendo todas las expectativas que busca algún cliente, siendo así controlado por reglas las cuales deben salir al mercado para ser inspeccionado y tenga los requerimientos estipulados por las organizaciones que hacen certificar algún producto.

2.1.3. Índice de Productividad

Con el fin de medir el progreso de la productividad, generalmente se emplea el Índice de Productividad (IP) como punto de comparación:

$$IP = 100 \times \frac{\text{(Productividad observada)}}{\text{(Estándar de Productividad)}}$$

La productividad observada es la productividad medida durante un periodo definido (día, semana, mes, año) en un sistema conocido (taller, empresa, sector económico, departamento, mano de obra, energía, país). El estándar de productividad es la productividad base o anterior que sirve de referencia.

Con lo anterior se puede medir la productividad en diferentes sistemas, departamentos, empresas, recursos como materias primas, energía, entre otros. Pero lo más importante es ir definiendo la tendencia por medio del uso de

índices de productividad a través del tiempo en nuestras empresas, realizar las correcciones necesarias con el fin de aumentar la eficiencia y ser más rentables.

Elementos importantes a considerar para aumentar la productividad de la empresa son tanto el capital humano y la inversión realizada por la organización para capacitar y formar a sus miembros como el grado de instrucción de la población trabajadora que es el conocimiento y habilidades que guardan relación directa con los resultados del trabajo.

2.1.4. Eficiencia, Efectividad, Eficacia

Normalmente estos términos se usan de manera inapropiada, ya que se consideran similares y por tanto se confunden entre sí.

En el presente, definiremos la *efectividad* como la capacidad de conseguir los objetivos o metas trazadas sin importar cómo. En la industria de la construcción, por lo general estos objetivos están definidos mediante “benchmarks” dentro de la programación de la obra; por ejemplo, fecha y en óptimos casos hora para el vaciado de una losa.

La *eficiencia* está más relacionada al uso de los recursos; esto es, a la capacidad de organizarlos para de esta manera evitar pérdidas o malas utilidades. Un claro ejemplo de eficiencia se aprecia en la programación de los materiales de obra, ya que se busca que llegue la cantidad necesaria y suficiente porque si no se generaría un exceso de inventario, el cual es un tipo de pérdida ya que genera un gasto innecesario que finalmente no aporta valor agregado. Es por esto que un buen trabajo de logística permitirá que el material llegue oportunamente para ser usado en el frente de trabajo.

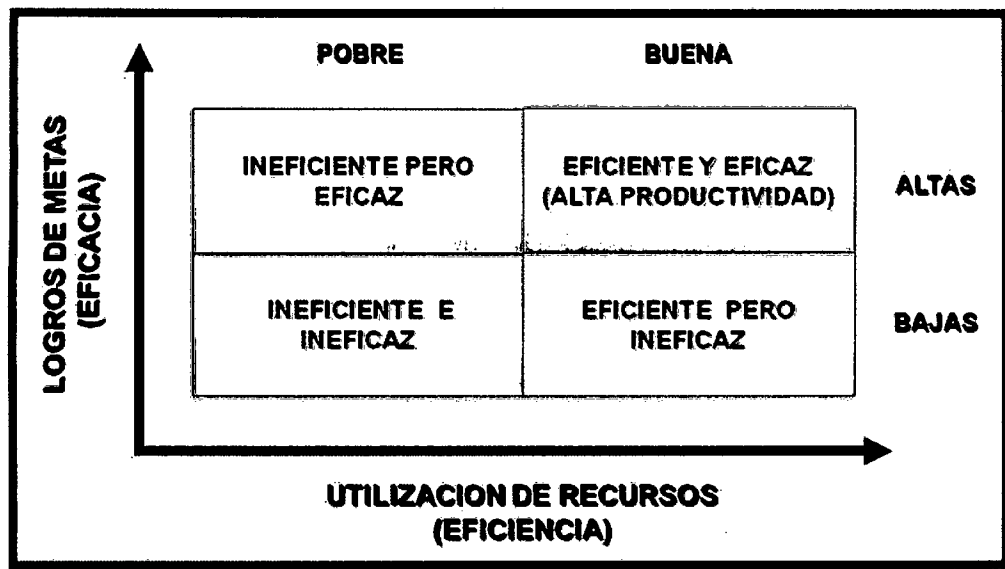
Finalmente, podemos decir que la *eficacia* es la combinación tanto de *efectividad* como de *eficiencia*; es decir, la capacidad de alcanzar los objetivos trazados mediante una adecuada utilización de los recursos, para de esta manera evitar pérdidas. Siguiendo con el ejemplo anteriormente citado, el vaciado de la losa se realizará de manera *eficaz* si es que se llega a realizar en la fecha y hora establecida en la programación, y sin desperdicio de horas hombre o de

materiales. Por lo tanto, lo que se busca en toda obra de acuerdo a la *Nueva Filosofía de la Construcción* es la eficacia.

Relación entre Eficacia y Productividad

Al conseguir la eficacia, se está consiguiendo no sólo que el recurso se optimice (eficiencia) sino que además el proceso que involucra dicho recurso se efectúe en el tiempo determinado (efectividad). Es así como se disminuirán las dependencias entre cuadrillas (se disminuirán las horas hombre en espera) y se optimizará el uso de horas hombre en cada actividad. Por lo tanto, la productividad aumentará.

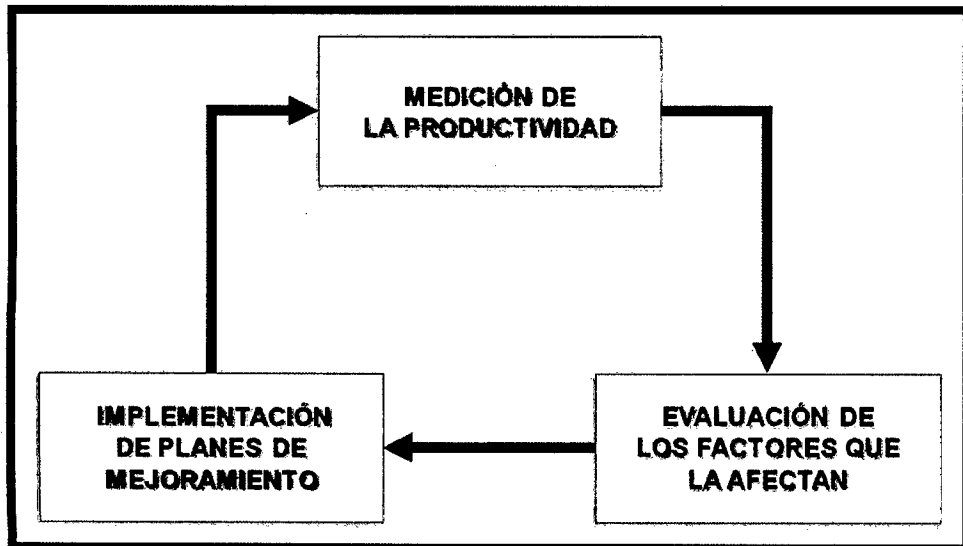
Fig. 2.1: Relación entre Eficacia, Eficiencia y Productividad (Serpell, 1993)



2.1.5. Mejoramiento de la Productividad

Teniendo en cuenta los factores que inciden negativamente en la productividad, se deben adoptar acciones correctivas que conduzcan a la solución de los problemas identificados, como objetivo del mejoramiento de la productividad. Para realizar lo anterior, se recomienda seguir el ciclo del mejoramiento de la productividad, descrito en la siguiente figura:

Fig. 2.2: Ciclo de Mejora Continua de la Productividad (Botero, 2004)



Las diferentes etapas para el mejoramiento, requieren la realización de distintas actividades en el proyecto.

- ✓ *Medición de la Productividad:* Realizada mediante la toma de datos y su posterior procesamiento y análisis estadístico. Para ello se utilizan formatos diseñados para tal fin, denominados formulario de muestreo general del trabajo.
- ✓ *Evaluación de la Productividad:* Se utilizan los datos obtenidos para diagnosticar la situación de la obra identificando los problemas. De esta forma se puede determinar el plan de acción a seguir una vez evaluadas las diferentes alternativas.
- ✓ *Implementación de Planes de Mejoramiento:* Se formulan estrategias y acciones de mejoramiento, con seguimiento permanente para evaluar la eficacia y los resultados obtenidos.

El sistema implementado responde a una identificación de todos los detalles encontrados en obra, correspondientes a las actividades del proceso.

2.2. PÉRDIDAS EN LA CONSTRUCCIÓN

Actualmente, mucho se discute sobre las pérdidas en la construcción civil. Los estudios que se vienen realizando hasta la fecha en lo referente a la gestión de desperdicios en la construcción indican pérdidas porcentuales de algunos materiales bastante elevadas, mucho mayor a la estimada de manera teórica.

Dichas pérdidas no sólo se generan en la obra misma, sino también en etapas que preceden a la construcción, o que bien se llevan de manera paralela a esta; como un inadecuado diseño, falta de planificación, fallas en el sistema de suministro de materiales, etc. Es por esto que mediante un proceso de mejora continua se puede llegar a optimizar el uso de los materiales, reduciendo de esta manera el desperdicio de estos.

Complementando la definición de desperdicio brindada en un inicio, podemos decir lo siguiente. Según Formoso (1999), el desperdicio puede ser clasificado de manera genérica en: *desperdicio inevitable* (o desperdicio natural), en el que la inversión necesaria para su reducción es mayor que la economía producida; y *desperdicio evitable*, cuando el costo de desperdicio es significativamente mayor que el costo para prevenirlo. El porcentaje de desperdicio inevitable en cada proceso depende de la compañía y de la obra en particular, ya que está relacionado al nivel del desarrollo tecnológico.

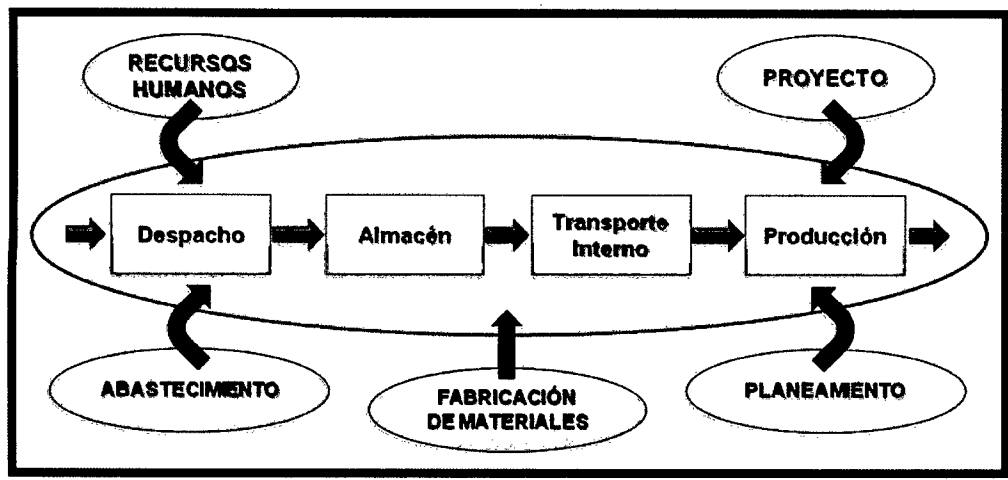
Otra forma en la que él clasifica el desperdicio es de acuerdo al tipo de desperdicio que se tiene. El *desperdicio directo*, que es el que se remueve directamente de obra, por lo general en forma de desmontes (para el caso de los materiales) o bien el que se aprecia directamente como parte del procedimiento bajo análisis (para el caso de mano de obra); y el *desperdicio indirecto*, el cual se le considera como "oculto", y es eventualmente más difícil de cuantificar. Se encuentra escondido dentro de los procesos y actividades relacionados a estos procesos, por lo que una adecuada Gestión y Metodología permiten "descubrir" a este tipo de desperdicios.

El problema es que, por lo general, se relaciona el concepto de *pérdida* al desperdicio material cuando, de acuerdo a la definición inicial de *pérdida*, es en

realidad todo recurso que no genera beneficio alguno. Entonces, al hablar de desperdicio, hay que considerar también el desperdicio de horas hombre (el cual es importante ya que el costo total de la mano de obra en una edificación representa el 30% del costo total de la obra, aproximadamente).

También cabe mencionar que las pérdidas (tanto materiales, como de recurso humano) no se generan únicamente en la etapa de producción, sino en cada una de las etapas que conforman finalmente un proyecto, tal y como se muestra a continuación:

Fig. 2.3: Flujo de un Proyecto (Formoso, 1999)



Como es costumbre, lo más probable es que al analizar la figura mostrada, se relacione la palabra pérdida con la originada por el material. Sin embargo, hay que tener en cuenta que participa la mano de obra en cada una de estas partes, por lo que se puede inferir que este gráfico también es válido para analizar la pérdida de mano de obra.

Por lo tanto, la definición de pérdida define al recurso humano (horas hombre) que ha sido utilizado en una cantidad mayor a la necesaria y por lo tanto, el valor agregado de dicho recurso disminuye.

La pérdida directa es aquella que está relacionada a la pérdida de horas hombre relacionada directamente a los procesos, mientras que la pérdida indirecta es aquella que incluye las horas hombre pérdidas por factores externos al proceso.

2.3. VARIABILIDAD

La variabilidad, se define como todo lo que aleja a nuestro sistema de producción de un comportamiento regular y predecible. En otras palabras, considerando a un sistema como conjunto de recursos que interaccionan entre sí (es decir, la interacción entre el recurso humano, los materiales, herramientas y maquinarias para realizar un proceso), la variabilidad se define finalmente como todo aquello que impide que nuestros procedimientos se lleven a cabo de manera *previsible*.

Las fuentes de variabilidad más comunes son:

Tabla 2.1: Causas de la Variabilidad (Vitteri, 2008)

CAUSA	EXPLICACIÓN
Cambios en ingeniería	Por ejemplo, cuando existen incongruencias entre los planos de arquitectura, estructuras e instalaciones (sanitarias y eléctricas).
Cambios del Cliente	En lo referente a instalaciones eléctricas y sanitarias mayormente (ubicación de puntos). Finalmente son adicionales que la Oficina Técnica de la obra debe de procesar.
Diferentes tipos de productos en el proyecto	Por eso se dice que se debe de industrializar la construcción, es decir, buscar productos tipo, que sean similares.
Disponibilidad de la mano de obra	Ya que ellos son los que finalmente realizan la tarea. Se presentan problemas en caso de ausentismo, y además la variabilidad propia que genera cada trabajador.
Fallas mecánicas	En caso los procesos dependan de alguna máquina (por ejemplo la grúa).
Falta de materiales	Esto debido a una mala coordinación del departamento de logística (almacén).
Retrabajos	Debido a un inadecuado manejo de los recursos y deficiente control de calidad.
Ritmo de trabajo del operador	Ya que no es constante a lo largo de su jornada laboral.
Trabajos defectuosos	Los cuales se originan por un deficiente control de calidad.
Transporte de materiales	Si es que los materiales no son almacenados y distribuidos de una manera ordenada y similar alrededor de toda la obra, se generan distintos tiempos de acarreo de material, lo cual hace que no se puedan predecir estos tiempos.
Falta de información	La cual origina retrasos, tiempos muertos durante la construcción de la obra.

2.3.1. Importancia de la Variabilidad

Es de importancia conocer la variabilidad que se presenta en los diversos procesos en la industria de la construcción porque de esta manera, se pueden corregir los problemas presentados para, finalmente, conseguir que la obra fluya de manera predecible y estable.

En otras palabras, para que la producción fluya de manera previsible, se requieren ciclos de procesos repetitivos idénticos, es decir, trabajar bajo un tren de producción. Para poder conseguir esto, se debe minimizar la variabilidad en los procesos, y la que se generan entre éstos. De esta manera, se podrá saber a cabalidad el tiempo que demanda el realizar determinado proceso, y será más fácil poder cumplir con los plazos de producción estimados.

2.3.2. Clasificación de la Variabilidad

Para poder saber qué tipo de variabilidad se puede minimizar, primero debe ser clasificada. Es así como se agrupa en:

- i. *Variabilidad Natural*: Es la variabilidad inherente al proceso. La variabilidad natural está muy relacionada con las operaciones llevadas a cabo por personas, es decir, la mayoría de las actividades de la construcción. Al ser inherente a las acciones humanas, no se puede eliminar. Sin embargo, su influencia en la variación de costos y tiempos de entrega en los proyectos no es determinante, en realidad es mínima. Además, al conocerla y cuantificarla se puede aislar.
- ii. *Variabilidad Inducida*: De acuerdo a su origen, puede ser clasificada en:
 - *Debida a paralizaciones imprevistas*: Por ejemplo, fallas mecánicas, falta de materiales, carencia de un apropiado análisis de restricciones, etc.
 - *Debida a paralizaciones previstas*: Cuando se cambia de un frente de trabajo a otro, o de un lote de producción (sector) a otro. Es decir, son actividades inevitables de realizar ya que forman parte del programa de avance. Sin embargo, sobre este tipo de paralización se tiene un

cierto control pues es el ingeniero quien determina el tamaño del lote de producción, el tamaño del lote de transferencia y la secuencia de los procesos.

- **Por retrabajos:** Cuando se tiene problemas de calidad se incurre en actividades que no agregan valor: retrabajos. Esto implica volver a trabajar algo que ya ha sido procesado porque no cumple con las especificaciones necesarias. Los retrabajos van contra la capacidad real de un proceso de trabajo y disminuyen su productividad puesto no existe productividad sin calidad.

2.3.3. Impacto en los Procesos Constructivos

En los procesos constructivos, se pueden tener las situaciones de baja, moderada y alta variabilidad. La descripción se ilustra en la siguiente tabla:

Tabla 2.2: Características de los Procesos Constructivos (Hopp&Spearman, 2001)

DESCRIPCIÓN	GRADO DE VARIABILIDAD		
	Baja	Moderada	Alta
Suministro de recursos y materiales	A tiempo	A veces falta	Poco confiable
Procesos antecesor (prerrequisito)	A tiempo	Limita avance	Varios
Cambios en ingeniería	No significativos	Existen	Son constantes
Planificación	Prevé dificultades	Imprevistos, pequeñas consultas	Consultas de diseño
Trabajo	Uniforme	Variable	Muy Variable
Modo de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Redistribución de frentes de trabajo. ✓ LP de corto tiempo. ✓ Sistema de control PULL, es decir, analizando restricciones y realizando una planificación anticipada (LookAheadplanning). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reacomodo de herramientas. ✓ LP más largos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fallas mecánicas constantes e impredecibles. ✓ LP largos e impredecibles.

* LP: Lote de Producción

Antes de continuar, se considera conveniente explicar brevemente qué es un lote de producción, qué es un lote de transferencia y qué es un buffer.

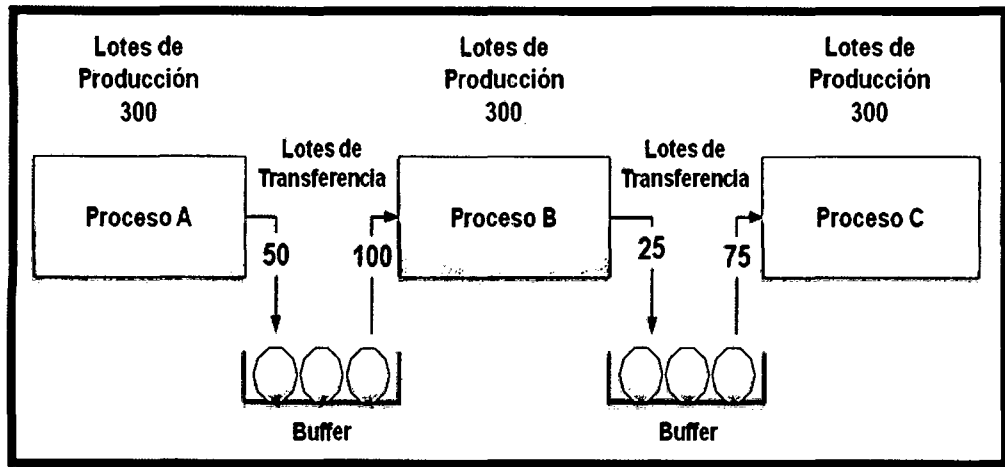
Un *lote de producción*, es aquel conjunto de productos que se pretende producir mediante un determinado proceso. Por lo tanto, depende de los recursos involucrados en el proceso, para el caso en estudio sería la producción de vigas pre-armadas.

Un *lote de transferencia* es el producto que entrega un proceso al siguiente inmediato. Por lo tanto, depende del cuello de botella, es decir, de la ruta de fabricación y del horizonte de tiempo. Se debe de reducir, pues así se disminuye el plazo de fabricación.

Finalmente, "los *Buffers* independizan a los procesos de su medio ambiente y de los procesos de que dependen (Koskela, 2000), permitiendo amortiguar el impacto negativo de la variabilidad sobre una cadena de procesos de producción. Por ejemplo, los inventarios de materiales en un proyecto de construcción representan *Buffers* pues permiten amortiguar las fluctuaciones en la entrega de materiales desde un proveedor externo. Esto asegura el trabajo para las unidades productivas del proyecto y evita su inactividad por falta de materiales. En el contexto de proyectos repetitivos se analizan los *Buffers* de *WIP* (Inventarios de Trabajo en Procesos). Estos *Buffers* pueden ser entendidos como avance físico entre actividades sucesivas de un proyecto ajustándose a las variaciones en las tasas de producción de actividades río arriba en la cadena de producción".¹³

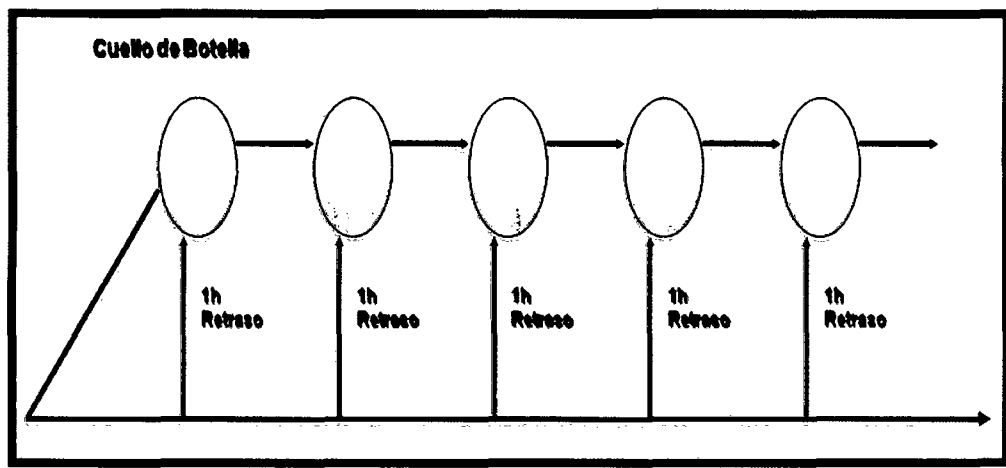
¹³GONZALEZ, Vicente. "Buffers de Programación: Una Estrategia Complementaria para Reducir la Variabilidad en los Procesos de Construcción". GEPUC. Chile, 2003.

Fig. 2.4: Diagrama que Representa Lotes de Producción y de Transferencia



Es así como, a continuación se pretende explicar el efecto dominó. Éste es el efecto de transferencia que genera la variabilidad, el cual dice que ésta va en aumento conforme más cerca se esté de los últimos procesos, que son los que usualmente agregan más valor al producto final desde el punto de vista del cliente.

Fig. 2.5: Efecto de la Variabilidad en una Cadena de Procesos (Vitteri, 2008)



La figura 2.5. muestra que una hora perdida en el cuello de botella (actividad que marca el ritmo de todo el proceso) es en realidad una hora perdida en cada uno de los procesos corriente abajo –es decir, los siguientes procesos en la secuencia constructiva– en la cadena de producción.

2.4. MÉTODO DELPHI

El método Delphi, es un método de prospección cuyo nombre se inspira en el antiguo Oráculo de Delphos¹⁴. Esta referencia resume su significado: *consultar al que sabe*. Este se trata de un método cualitativo ideado a comienzos de los años 50 en el Centro de Investigación estadounidense Rand – Corporation, por dos matemáticos: Olaf Helmer y Theodore J. Gordon, cuya finalidad era crear un instrumento para realizar predicciones sobre un caso de catástrofe nuclear. Desde entonces, ha sido utilizado frecuentemente como sistema para obtener información sobre el futuro.

El método original fue diseñado especialmente para el tratamiento de tópicos netamente técnicos, donde se buscaba el consenso entre un grupo homogéneo de expertos sobre un tema en particular.

Listone y Turoff (1975) definían la técnica Delphi, de la siguiente manera: *“método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo”,* y cuyo objeto de aplicación, según Landeta (1999) es *“obtener una opinión grupal fidedigna a partir de un conjunto de expertos”*.

El método Delphi aporta, según Dalkey y Helmer (1963), una serie de ventajas respecto al resto de métodos subjetivos de predicción: la ausencia de la influencia de individuos dominantes, el ruido semántico y la presión del grupo hacia la conformidad.

El método Delphi fue diseñado para animar un verdadero debate independiente; se requería anonimato en sentido que nadie supiese quién era el resto que estaba participando dentro del conjunto, para eliminar así el poder de la oratoria y la pedagogía; los razonamientos dados para fundamentar las opiniones extremas fueron sintetizadas por los investigadores para darles a todos igual peso; y luego retroalimentar al grupo para realizar un análisis más profundo y

¹⁴De acuerdo a la mitología Griega, estaba localizado un templo en donde era consultado el dios Apolo.

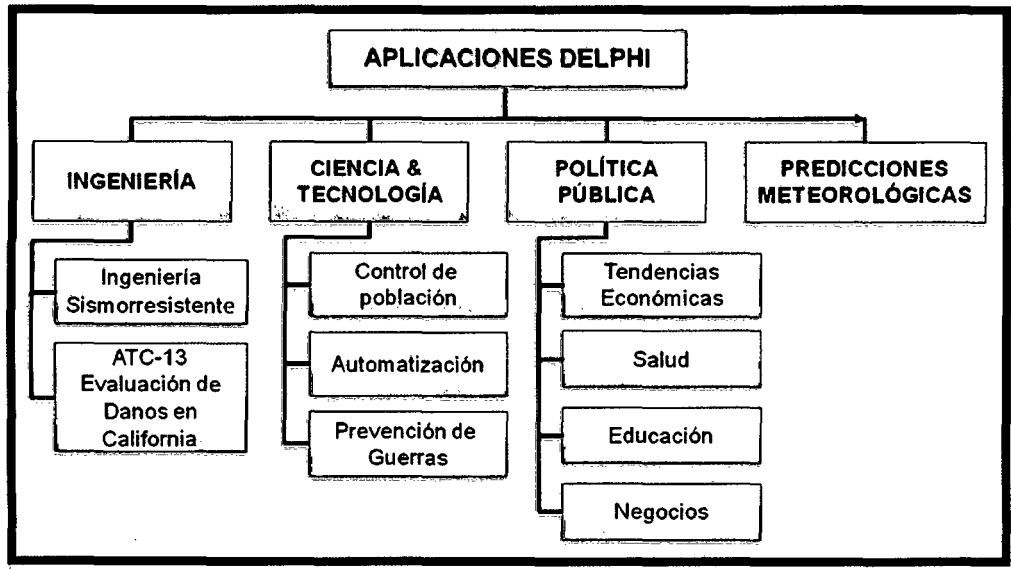
extenso. Estos aspectos, anonimato y retroalimentación, representan los dos elementos esenciales que han estado colocados explícitamente desde el primer estudio Delphi hecho en 1964, el cual contenía pronósticos de descubrimientos científicos y tecnológicos hacia el 2000 donde 82 panelistas contribuyeron para su publicación.

Las influencias negativas de los miembros dominantes del grupo se evitan gracias al anonimato de sus participantes. La retroalimentación controlada por el conductor del método permite la transmisión de información libre de ruidos entre los expertos a lo largo de las iteraciones que se dan en el proceso. Y a través de la respuesta estadística de grupo se garantiza que todas las opiniones individuales se tomen en consideración en el resultado final del grupo.

Cabe también señalar que actualmente existe el denominado Método Delphi Modificado que busca puntos de vista totalmente opuestos, partiendo de la premisa de que los tomadores de decisiones no están interesados en que un grupo en particular tome decisiones por ellos, pero sí, que les presenten sus opiniones y evidencia necesaria para su consideración. El método Delphi, como lo menciona Irene Konow en "Métodos y Técnicas de Investigación Prospectiva para la toma de Decisiones", ha sido muy difundido y desarrollado en diversas áreas entre las que podemos mencionar:

- ✓ Examen de la significación de eventos históricos.
- ✓ Evaluación de posibles asignaciones de presupuesto.
- ✓ Exploración de las opciones de planeación regionales y urbanas.
- ✓ Delineación de las ventajas y desventajas asociadas con opciones potenciales de política.
- ✓ Desarrollo de relaciones causales en fenómenos complejos, tanto económicos como sociales.

Fig. 2.6: Aplicaciones del Método Delphi



2.4.1. Características del Método Delphi

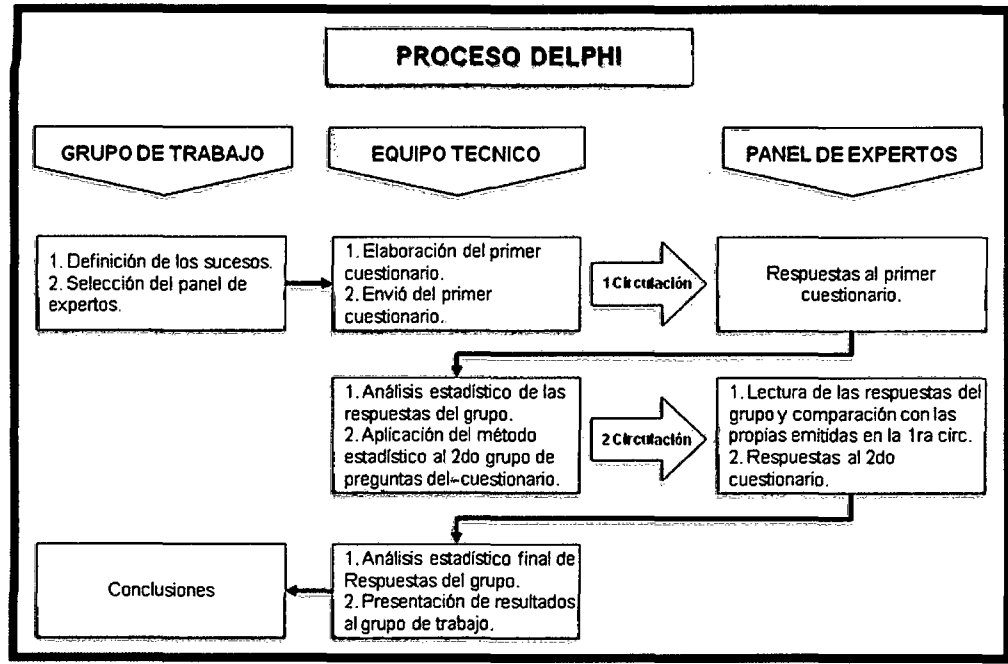
Tomando como referencia de las indicaciones del libro “Métodos y Técnicas de Investigación Prospectiva para la toma de Decisiones” de Irene Konow, mencionado anteriormente, presentaremos una breve descripción de los aspectos involucrados a la aplicación del Método Delphi.

- ✓ *Definición de objetivos:* Es importante definir claramente los objetivos que se persiguen con la realización del estudio Delphi, determinando el propósito general y los objetivos específicos por ítem. Estudio del tema y búsqueda de información; se debe especificar detalladamente el tema que se quiere investigar.
- ✓ *Programación de Recursos Humanos y Materiales:* La programación de los recursos, tanto humanos como materiales, que son utilizados en el ejercicio Delphi, está generalmente a cargo del jefe administrativo del estudio (que forma parte del grupo monitor).
- ✓ *Grupo monitor:* Las principales características que debe cumplir este grupo son las siguientes:

- La primera característica es que los componentes de este grupo conozcan la metodología Delphi en forma idónea.
 - Es deseable que un cierto número de personas del grupo sean investigadores académicos que tengan alguna relación con el tema que se quiere estudiar.
 - Las personas que integran el equipo monitor deben poseer una gran imaginación y creatividad.
- ✓ *Número de Monitores:* Para cada estudio Delphi en particular, es posible encontrar un número óptimo de integrantes de este grupo monitor, que estará condicionado por los siguientes factores:
- Complejidad de la información a obtener para la realización del estudio, en la etapa exploratoria.
 - Funciones a realizar, las que están condicionadas al método usado para el procesamiento de información.
- ✓ *Jefe de Estudio:* Esta persona puede ser elegida de entre los integrantes del grupo monitor, por sus características personales de liderazgo, por su capacidad organizativa o conocimiento sobre el tema.
- ✓ *Panel:* Lo constituyen individuos elegidos por el grupo monitor, en base a un criterio de selección. Este grupo proporciona la información que requiere el grupo monitor para su estudio.
- ✓ *Consensos:* Una vez identificados los consensos, como resultado de ponderar respuestas y corregir sesgos, se procede a identificar los puntos donde se ha logrado y aquellos puntos donde existen discrepancias. El consenso es logrado, para el caso de una pregunta con dos alternativas cuando una de las alternativas acumula al menos el 70% de los votos ponderados y para el caso de preguntas con más de dos alternativas, cuando una de las alternativas acumula al menos el 50% por el nivel de confianza y grado de conocimiento en el tema por parte de cada uno de los miembros del panel.

En la figura 2.7 detallamos aspectos importantes que se deben tener en cuenta sobre los grupos utilizados en el proceso Delphi.

Fig. 2.7: Procesos del Método Delphi



2.4.2. Metodología para el Método Delphi

Los pasos que se llevarán a cabo para aplicar y realizar el método Delphi de manera resumida deberían ser los siguientes:

Fase 1: Formulación del problema

Es la etapa fundamental en la realización de un Delphi, la importancia de definir con precisión el campo de investigación es crucial, por lo tanto es preciso estar muy seguros de que los expertos reclutados y consultados posean la misma noción del tema a consultar.

Fase 2: Elección de expertos

La etapa es importante en cuanto que el término de "experto" es ambiguo. Con independencia de sus títulos, su función o su nivel jerárquico, el experto será elegido por su capacidad de encarar el futuro y poseer conocimientos sobre el tema consultado. La falta de independencia de los expertos puede constituir un

inconveniente; por esta razón los expertos son aislados y sus opiniones son de forma anónima (se trata de eliminar el efecto de los líderes).

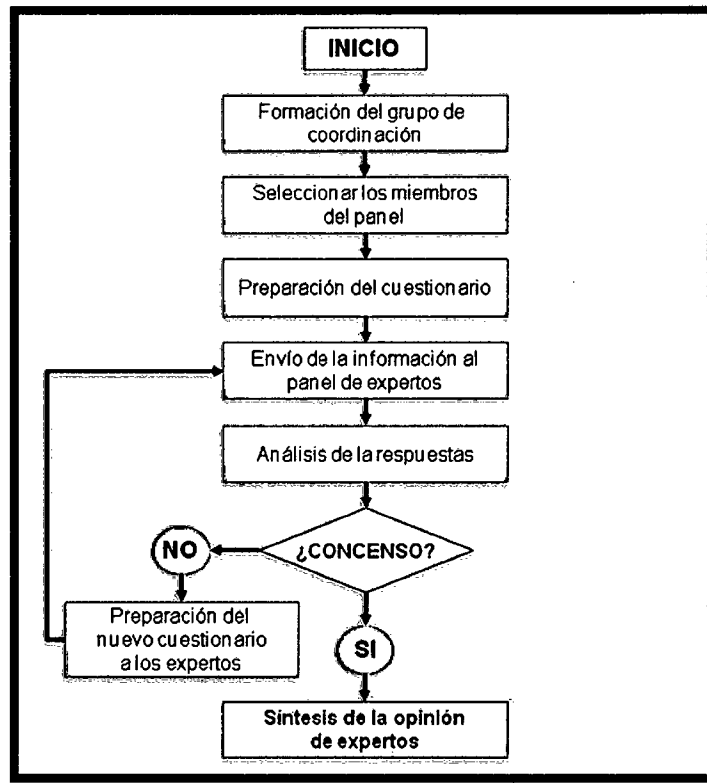
Fase 3: Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios

Los cuestionarios se elaborarán de manera que faciliten la respuesta por parte de los consultados. Preferentemente las respuestas tendrán que ser cuantificadas y ponderadas, se formularán cuestiones relativas al grado de ocurrencia (probabilidad) y de importancia (prioridad). En ocasiones, se recurre a respuestas categorizadas (Si/No; Mucho/Medio/Poco; Muy de acuerdo/De acuerdo/Indiferente/En desacuerdo/Muy en desacuerdo) y después se tratan las respuestas en términos porcentuales tratando de ubicar a la mayoría de los consultados en una categoría.

Fase 4: Desarrollo práctico y explotación de resultados

El cuestionario es enviado al panel de expertos (hay que tener en cuenta las no respuestas y abandonos). Se recomienda que el grupo final no sea inferior a 25. El cuestionario irá acompañado por una nota de presentación que precisa las finalidades, el espíritu del Delphi, así como las condiciones prácticas del desarrollo de la encuesta (plazo de respuesta, garantía de anonimato). Además, en cada cuestión, puede plantearse que el experto deba evaluar su propio nivel de competencia, es decir la profundidad con la que conoce el tema. El objetivo de los cuestionarios sucesivos es disminuir la dispersión de las opiniones y precisar la opinión media consensuada. En el curso de la segunda consulta, los expertos son informados de los resultados de la primera consulta de preguntas y deben dar una nueva respuesta y sobre todo deben justificarla en el caso de que sea fuertemente divergente con respecto al grupo. Si resulta necesaria, en el curso de la tercera consulta se pide a cada experto comentar los argumentos de los que disienten de la mayoría. Un cuarto turno de preguntas, permite la respuesta definitiva: opinión consensuada media y dispersión de opiniones (intervalos intercuartiles).

Fig. 2.8:Flujograma del Método Delphi



2.4.3. Soporte Matemático del Método Delphi

Cuando se pregunta en un cuestionario Delphi sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento en el futuro, se emplea una escala de probabilidades en el rango [0%,100%]. En tal caso las calificaciones de probabilidad de ocurrencia en el futuro del evento pueden ser establecidas conforme a la siguiente escala:

Tabla 2.3: Probabilidad de Ocurrencia de un Evento

CALIFICACIÓN	SIGNIFICADO	
10%	Muy improbable	Ámbito de lo improbable
20%	Entre muy improbable e improbable	
30%	Improbable	
40%	Entre improbable y dudoso	
50%	Existe duda	Ámbito de la duda
60%	Entre dudoso y probable	Ámbito de lo probable
70%	Probable	
80%	Entre probable y muy probable	
90%	Muy probable	

Cuando ocurre la primera iteración se consideran las siguientes condiciones respecto a determinar el consenso: Para medir el consenso y la dispersión de los valores de la distribución pueden ser medidos por la variación (CV) que señala el porcentaje de calificaciones alejadas del promedio. El coeficiente de variación se estima empleando la fórmula siguiente:

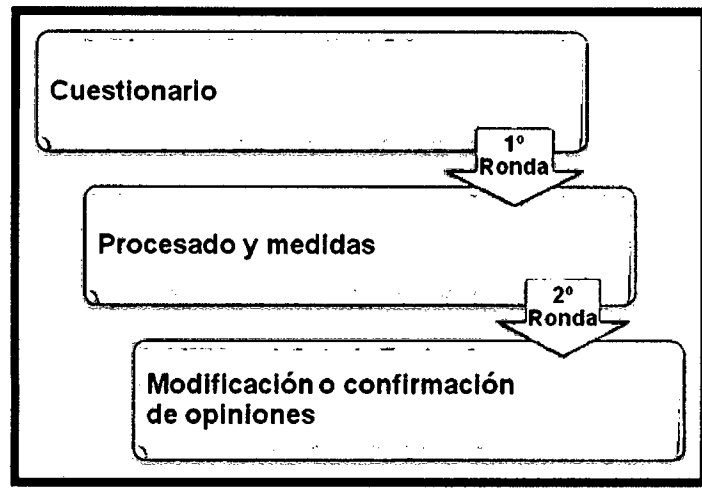
$$CV = \frac{\sigma}{x} \times 100$$

Una dispersión del 30% al 20%, muestra un consenso moderado pero aceptable.

Una dispersión del 19% al 10%, señala un consenso mayor.

Una dispersión menor al 10%, indica un alto consenso.

Fig. 2.9: Método Simplificado de Interacción en el Método Delphi



Cuando ocurre la segunda iteración, se solicita a los expertos o individuos integrantes del panel, que están en las colas (opiniones más optimistas y menos optimistas) que justifiquen su respuesta. Cuando ocurre la tercera iteración, se le solicita a los expertos o individuos integrantes del panel, cuyas calificaciones obtuvieron mayor aceptación (la moda) que refuten los argumentos presentados por quienes están en los extremos de la distribución.

2.5. MÉTODO TRIZ

Se trata de un acrónimo a partir del nombre original en ruso (*ТРИЗ*) y puede entenderse como la *Teoría de Solución de Problemas de Invenciones*. Fue desarrollada a mediados de los 50 del siglo pasado por Genrich Altshuller (1926 – 1999), un ingeniero e inventor soviético y quien progresivamente fue mejorando la teoría. Al trabajar en la Oficina de Patentes o de reconocimientos, revisó cerca de 40 mil documentos que le permitieron estudiar el o los procesos de cómo se produjeron las innovaciones. Alrededor de este estudio desarrolló diversos conceptos, como: los principios de la invención, las leyes de evolución de los sistemas técnicos, las contradicciones técnicas y físicas (la solución de un problema puede ocasionar que aparezca otro), el sistema ideal, y métodos de resolver aprovechando la creatividad e inventiva.

De Altshuller proviene la siguiente definición: *“Invención es la remoción de una contradicción técnica con la ayuda de ciertos principios”*.¹⁵

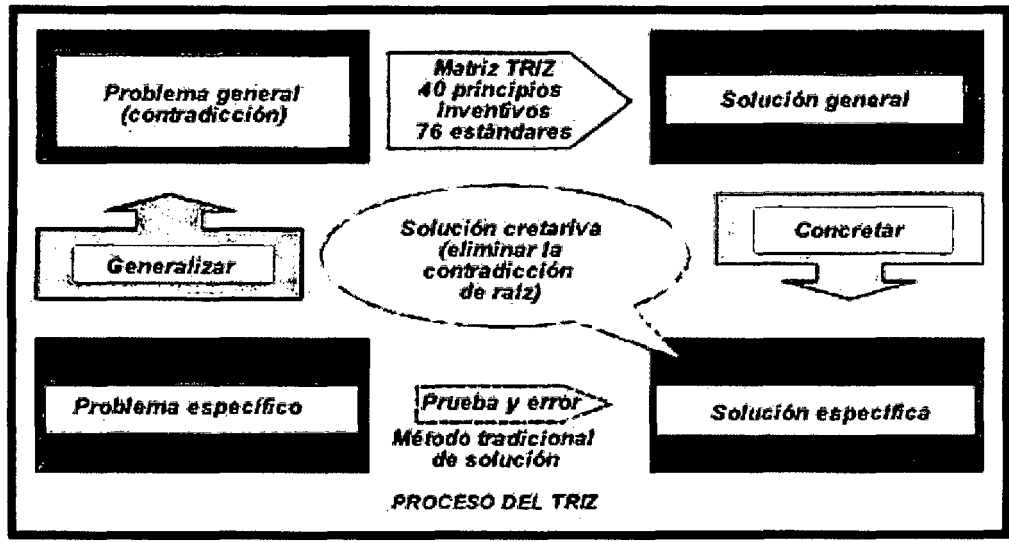
2.5.1. Proceso del TRIZ

Se trata de pasar del problema específico al general. Encontrar la solución general con ayuda del TRIZ. Y de ahí pasar a una solución específica. En la figura 2.10 se describe el proceso TRIZ.

La incorporación de los estándares, junto con los principios, ayuda a encontrar una solución típica, base de aquella específica buscada. Cabe resaltar que los problemas generales y las soluciones generales son proporcionados por el TRIZ gracias al estudio que realizó Altshuller, con lo cual teniendo una solución general, se puede llevar a una solución específica de acuerdo al conflicto que tengamos.

¹⁵ALTSULLER, Genrich. *“La Creatividad como una Ciencia Exacta”*. New York, NY: Gordon & Breach, 1984.

Fig. 2.10:Proceso del TRIZ



2.5.2. Pasos del TRIZ

En TRIZ se reconocen cuatro pasos globales para darle solución a problemas. Los pasos se ilustran en la siguiente tabla:

Tabla 2.4: Pasos de la Metodología TRIZ

PASO	NONBRE	DESCRIPCIÓN
Uno	Identificación del problema	Identificación del sistema de ingeniería que se estudia. Su ambiente operativo. Los requerimientos de recursos. La función útil primaria. Efectos dañinos. El resultado ideal.
Dos	Formulación del problema	Restablecer el problema en términos de sus contradicciones físicas. Identificar los problemas que pudieran ocurrir. ¿Hay conflictos técnicos? ¿Puede mejorar una característica técnica para resolver un problema empeorado por otra característica técnica?
Tres	Investigar los problemas bien resueltos previamente	El autor del TRIZ trabajando con un millón y medio de patentes en el mundo, extrajo 39 características técnicas o parámetros ingenieriles que podrían causar conflictos entre sí. Este paso es principalmente válido para el segundo nivel.
Cuatro	Buscar soluciones análogas y adaptarlas para la solución	Puede hacerse empleando una lista de 40 principios inventivos que el autor del TRIZ dedujo de las patentes.

2.5.3. Niveles del TRIZ

Altshuller separo los tipos de solución en cinco niveles (tabla 2.5), separándolos de acuerdo a la complejidad de la solución propuesta. En la siguiente tabla se describen los cinco niveles para la solución:

Tabla 2.5: Niveles de las Soluciones

NIVEL	DESCRIPCIÓN	%APROXIMADO DE OCURRENCIA
Cinco	Un raro descubrimiento científico o una invención pionera de un nuevo sistema.	1
Cuatro	Solución enfocada más en la ciencia que en la tecnología. Una nueva generación que usa un nuevo principio para efectuar las funciones primarias de un sistema.	4
Tres	Se resuelven contradicciones. Se trata de mejoras fundamentales de un sistema existente, por métodos conocidos fuera de la industria.	18
Dos	Mejoras menores de un sistema existente, usando métodos conocidos dentro de la industria.	45
Uno	No se necesita invención. Los problemas rutinarios de diseño son resueltos por métodos muy conocidos dentro de la especialidad.	32

2.5.4. Factores Ingenieriles que Podrían Causar Conflicto

Cuando se soluciona un problema, puede ocurrir que se genere otro problema, a lo que denominamos "conflicto". Con el método TRIZ, se pueden determinar cuáles son estos conflictos y solucionarlos conjuntamente con los problemas ya observados.

- ✓ Encontrar las características ingenieriles contradictorias. Puede reflejarse en una matriz de contradicciones.
- ✓ Encontrar el parámetro o característica técnica que necesita ser cambiado.
- ✓ Encontrar el parámetro que tiene un efecto secundario indeseable.
- ✓ Establecer el conflicto técnico estándar.

En la tabla 2.6 se muestran los 39 parámetros ingenieriles que podrían causar conflictos entre sí. El conflicto se señala por pares de parámetros entre sí.

Tabla 2.6: Parámetros Ingenieriles

Lista de parámetros ingenieriles			
1. Peso de un objeto en movimiento	11. Tensión, presión	21. Potencia	31. Daños como efectos laterales desarrollados por el objeto
2. Peso de un objeto estacionario	12. Forma	22. Desperdicio de energía	32. Posibilidad de fabricación
3. Longitud de un objeto en movimiento	13. Estabilidad del objeto	23. Desperdicio de sustancia	33. Conveniencia de uso
4. Longitud de un objeto estacionario	14. Resistencia	24. Pérdida de información	34. Posibilidad de reparación
5. Área de un objeto en movimiento	15. Durabilidad de un objeto en movimiento	25. Pérdida de tiempo	35. Adaptabilidad
6. Área de un objeto estacionario	16. Durabilidad de un objeto estacionario	26. Cantidad de la sustancia	36. Complejidad del dispositivo
7. Volumen de un objeto en movimiento	17. Temperatura	27. Confiabilidad	37. Complejidad de control
8. Volumen de un objeto estacionario	18. Brillo	28. Exactitud de la medición	38. Nivel de automatización
9. Velocidad	19. Energía consumida por un objeto en movimiento	29. Exactitud de la manufactura	39. Productividad
10. Fuerza	20. Energía consumida por un objeto estacionario	30. Factores de daño actuando en el objeto desde afuera	

2.5.5. Principios Inventivos o de Solución

Estos principios (tabla 2.7), vienen dados por las soluciones generales que el método brinda. Los 40 principios inventivos del TRIZ son:

Tabla 2.7: Principios Inventivos

Principios inventivos		
Número	Nombre	Descripción
1	Segmentación	Dividir un objeto en partes independientes. Hacer un objeto divisible en secciones. Incrementar el grado de segmentación del objeto.
2	Extracción	Separar o remover partes o propiedades que perturban en un objeto.
3	Calidad local	Transición desde una estructura homogénea de un objeto a una estructura heterogénea (o fuera de su ambiente).
4	Asimetría	Reemplazar una forma simétrica con otra asimétrica. Si un objeto es asimétrico, incrementar el grado de asimetría.
5	Combinación	Combinar en espacios homogéneos u objetos destinados para operaciones contiguas. Combinar en tiempos homogéneos o en operaciones contiguas.
6	Universalidad	Haga que el objeto efectúe múltiples funciones. De esta manera se elimina la necesidad de algún otro.
7	Anidamiento	Contenga el objeto dentro de otro, el cual a su vez, es colocado dentro de un tercero.
8	Contrapeso	Compense el peso de un objeto juntándolo con otro objeto que tiene una función de levante. Compense el peso de un objeto al interactuar en un ambiente que le proporcione fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas.
9	Acción contraria previa	Previamente efectúe una acción contraria. Si el objeto es o estará bajo tensión, proporcione una anti tensión en avance.
10	Acción previa	Efectúe todas o alguna de las acciones requeridas en avance. Arregle los objetos tal que puedan ir en acción desde un tiempo o posición conveniente.
11	Suavizar en avance	Compense la relativamente baja confiabilidad de un objeto tomando contramedidas en avance.
12	Equi-potencialidad	Cambie las condiciones de trabajo tal que el objeto no necesite ser elevado o bajar.
13	Inversión	Implemente una acción opuesta a la especificada por el problema. Haga movable una parte de un objeto inmóvil, o haga movable el ambiente externo inmóvil. Voltee el objeto.
14	Esferoidicidad	Reemplace las partes lineales o planas por otras curvas. Reemplace las formas cúbicas por esféricas. Use rodillos o esferas aún en forma de espiral. Reemplace el movimiento lineal con movimiento rotatorio. Utilice una fuerza centrífuga.

Número	Nombre	Descripción
15	Dinamicidad	Haga un objeto o su ambiente automáticamente ajustado para un desempeño óptimo en cada estadio de la operación. Divida un objeto en elementos cambiando la posición relativa uno de otro. Si un objeto es inamovible, hágalo movable o intercambiable.
16	Acción parcial o de sobre cobertura	Si es difícil obtener 100% de un efecto deseado, alcance algo más o menos para simplificar el problema.
17	Moviendo a una nueva dimensión	Remueva problemas moviendo el objeto en forma lineal o bidimensional. Use un ensamble de objetos en capas múltiples en vez de una sola capa. Incline un objeto o gírelo a algún lado.
18	Vibración mecánica	Establezca un objeto en oscilación. Si la oscilación existe, incremente su frecuencia, aún a nivel ultra sonido. Use la frecuencia de resonancia. En vez de vibraciones mecánicas, use vibradores piezoeléctricos. Use vibraciones ultrasónicas en combinación con un campo de oscilaciones electromagnéticas.
19	Acción periódica	Reemplace una acción continua con una periódica. Si una acción es periódica, cambie su frecuencia. Agregue pulsos para una acción adicional.
20	Continuidad de una acción útil	Llevar una acción continuamente, sin pausas, para que todas las partes operen a total capacidad. Remueva tiempos muertos o intermedios.
21	Pasar rápido	Efectuar operaciones dañinas o riesgosas a muy alta velocidad.
22	Convertir daño en beneficio	Utilizar factores dañinos o efectos ambientales para obtener un efecto positivo. Remover un factor dañino por combinarlo con otro factor dañino. Incrementar la cantidad de una acción dañina hasta que deje de ser dañina.
23	Retroalimentación	Introducir retroalimentación. Si la retroalimentación existe, invertirla.
24	Intermediación	Use un objeto intermedio para transferir o llevar adelante una acción. Temporalmente conecte un objeto a otro que sea fácil de remover.
25	Autoservicio	Hacer que el objeto se sirva asimismo y lleve a cabo acciones suplementarias y de reparación. Hacer uso de desperdicios o excesos de energía.

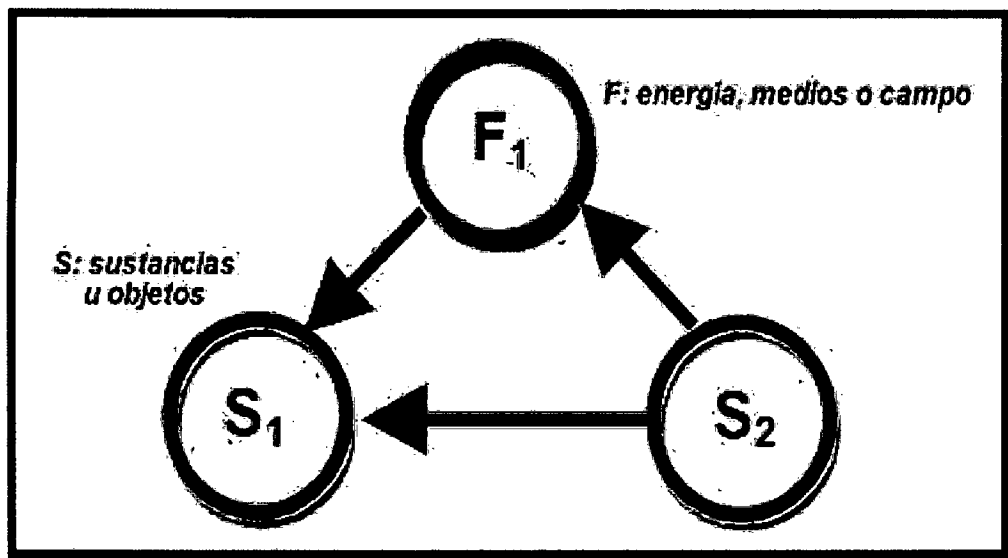
Número	Nombre	Descripción
26	Copiado	Usar una copia simple y barata en vez de un objeto complejo, caro, frágil o con inconvenientes para operar. Reemplazar un objeto por una copia o imagen, aún a escala. Si las copias ópticas visibles han sido ya usadas, reemplácelas por copias infrarrojas o ultravioleta.
27	Objetos baratos y de corta vida por uno caro y durable	Reemplace un objeto caro por una colección de objetos baratos.
28	Reemplazo de un sistema mecánico	Reemplace un sistema mecánico por otro sensorial (óptico, acústico u olfatorio). Use un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con el objeto. Reemplace campos: estacionarios por móviles, fijos por intercambiables, aleatorios por estructurados. Usar un campo en conjunto con partículas activadas (por ejemplo ferro-magnéticas).
29	Construcción neumática o hidráulica	Reemplace partes sólidas de un objeto por gas o líquido. Puede usarse aire o agua.
30	Membranas flexibles o películas delgadas	Reemplazar construcciones tradicionales por otras de membranas flexibles o películas delgadas. Aislar un objeto de su ambiente usando membranas flexibles o películas delgadas.
31	Uso de material poroso	Hacer un objeto poroso o agregar elementos porosos. Si un objeto ya es poroso, rellene algunos poros.
32	Cambio de color	Cambiar el color de un objeto o de su entorno. Cambiar el grado de translucidez de un objeto hacia otro difícil de ver. Usar aditivos colorantes para observar objetos o procesos difíciles de ver. Si tales dispositivos están ya en uso, emplear trazos luminiscentes.
33	Homogeneidad	Hacer aquellos objetos con los cuales interactúa el objeto principal del mismo material o uno cercano.
34	Desechar o regenerar partes	Después de que ha completado su función, desechar el elemento del objeto. Inmediatamente restaurar cualquier parte de un objeto el cual es exhausto.
35	Transformación de estados físicos y químicos de un objeto	Cambiar el estado, densidad, flexibilidad, temperatura.
36	Transformación de fase	Implementar un efecto desarrollado durante la fase de transición de una sustancia. Por ejemplo, durante el cambio de volumen, liberación o absorción de calor.

Número	Nombre	Descripción
37	Expansión térmica	Usar un material que se expande o contrae con el calor. Usar varios materiales con diferentes coeficientes de expansión de calor.
38	Use oxidantes fuertes	Reemplace aire normal por enriquecido. Reemplace aire enriquecido con oxígeno. Trate un objeto en aire o en oxígeno con radiación ionizada. Use oxígeno ionizado.
39	Ambiente inerte	Reemplace el ambiente normal con otro inerte. Lleve el proceso al vacío.
40	Materiales compuestos	Reemplace material homogéneo con otro compuesto.

2.5.6. El Sistema Sustancia – Campo

Se trata de un símil a la base de datos que relaciona las diferentes maneras para llegar a funciones clave. Se necesita saber qué quiere hacerse, y sobre que sustancias hay que actuar. El proceso requiere de la conversión del sistema de campos y sustancias relacionadas entre sí (generalmente dos sustancias y un campo).

Fig. 2.11: Relación entre Sustancias y Campo



La herramienta de conversión dispone de las siguientes cinco reglas:

- ✓ Cambiar la sustancia S_2 por otra sustancia S_3 a fin de generar un nuevo campo F_2 que no perjudique a S_1 .
- ✓ Agregar una sustancia S_3 para generar un nuevo campo F_2 que al actuar sobre S_2 lo modifique, y no perjudique a S_1 .
- ✓ Agregar una nueva sustancia S_3 para generar un nuevo campo F_2 que al actuar sobre S_1 lo modifique, y que la acción de S_2 no perjudique a S_1 .
- ✓ Agregar una nueva sustancia S_3 intermedia entre S_1 y S_2 , que al actuar F_1 , genere un nuevo F_2 que modifique S_1 o S_2 para evitar su acción perjudicial.
- ✓ Agregar una nueva sustancia S_3 para generar un nuevo campo F_2 que al actuar sobre S_1 y S_2 los modifique, y evitar su acción negativa.

CAPÍTULO III:

SISTEMA DE MEJORA: VIGAS PRE-ARMADAS

3.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Se debe recordar que el objetivo general del presente estudio es mejorar la productividad y calidad del sistema de mejora, elaboración y colocación de vigas pre-armadas, mediante la metodología TRIZ. Para lo cual se han planteado los siguientes objetivos particulares:

- ✓ Evaluar el sistema de mejora a partir de la recolección de datos.
- ✓ Identificar los procesos constructivos con mayor problema o incidencia del sistema de mejora mediante el método Delphi.
- ✓ Proponer lineamientos de mejora, de manera tal que se pueda aumentar la productividad y calidad del sistema de mejora.

3.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Enfocado en el estudio de la elaboración y colocación de vigas pre-armadas, los principales problemas identificados se pueden resumir del siguiente modo:

El principal problema al que nos enfrentamos en el presente estudio es la poca disposición al cambio, no sólo por parte de los obreros, sino de la supervisión, el cliente, el proyectista e incluso de la constructora. Cuando se presenta un cambio o una mejora en los procesos constructivos, prácticamente tienen que imponerse, se tienen que dar como una orden para que se puedan realizar, además de realizar la respectiva capacitación del personal.

Inicialmente la idea de cambiar una cultura o una forma de trabajo es sometida a cierto nivel de suspicacia y desconfianza, pero si observamos la tendencia de la construcción, es a raíz de la adopción de nuevas filosofías en la construcción con lo que se están obteniendo mejoras tangibles en los procesos de construcción tradicionales. Siendo conscientes de ello, ¿Por qué habría de

seguir habiendo una oposición hacia la implementación de la elaboración y colocación de vigas pre-armadas?

Lo que se busca con el estudio, mediante el planteamiento del uso de vigas pre-armadas, es establecer herramientas que nos faciliten la elección del sistema de mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando no sólo un cambio en la forma de trabajo, sino un cambio en la cultura de la construcción.

3.3. CASOS DE APLICACIÓN

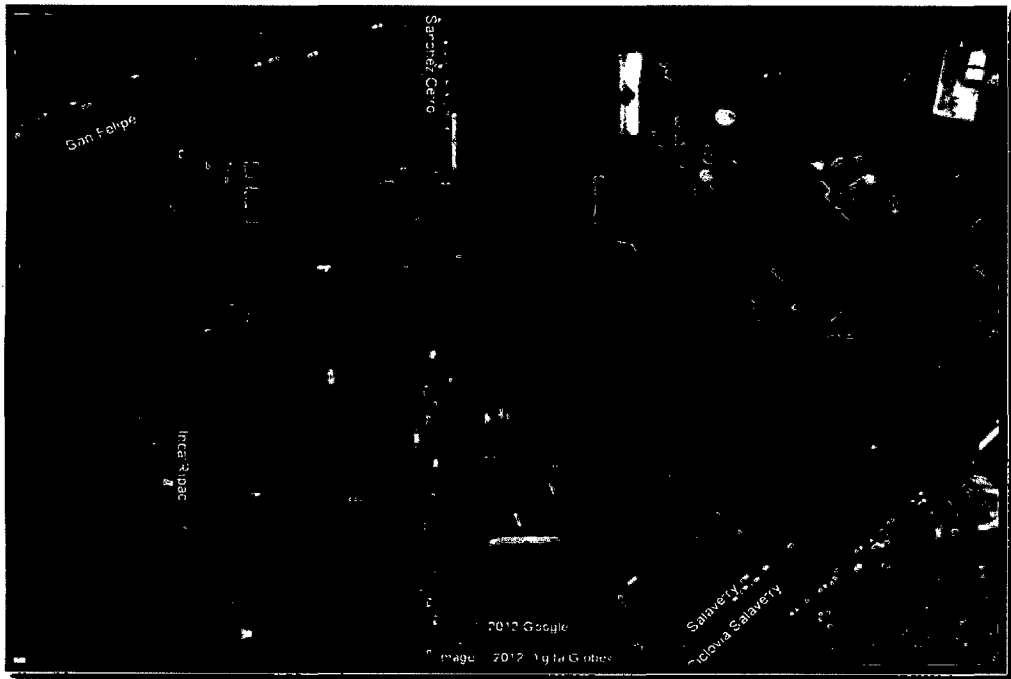
El presente estudio se llevó a cabo en la ciudad de Lima-Perú, donde se analizaron los procesos constructivos en 3 edificaciones. Se realizó el estudio del Edificio Educativo de la Universidad del Pacífico, del Gran Teatro Nacional y del Edificio Residencial Neo 10, los cuales presentan distintas características y usos, pero tienen en común el empleo de un sistema estructural aporticado, logrando de esta manera el poder emplear elementos estructurales pre-armados, ya sea el caso de elementos estructurales horizontales (vigas) y/o elementos estructurales verticales (columnas y placas). Cabe mencionar que para la realización del estudio, nos enfocaremos en el uso de vigas pre-armadas.

A continuación se describen las características presentes en cada una de las edificaciones investigadas, así tenemos:

3.3.1. Caso 1: Edificio Educativo Universidad del Pacífico

La obra se encuentra ubicada en la Av. Sánchez Cerro 2121, en el distrito de Jesús María.

Fig.3.1: Vista Aérea de la Obra Universidad del Pacífico (Google Earth)

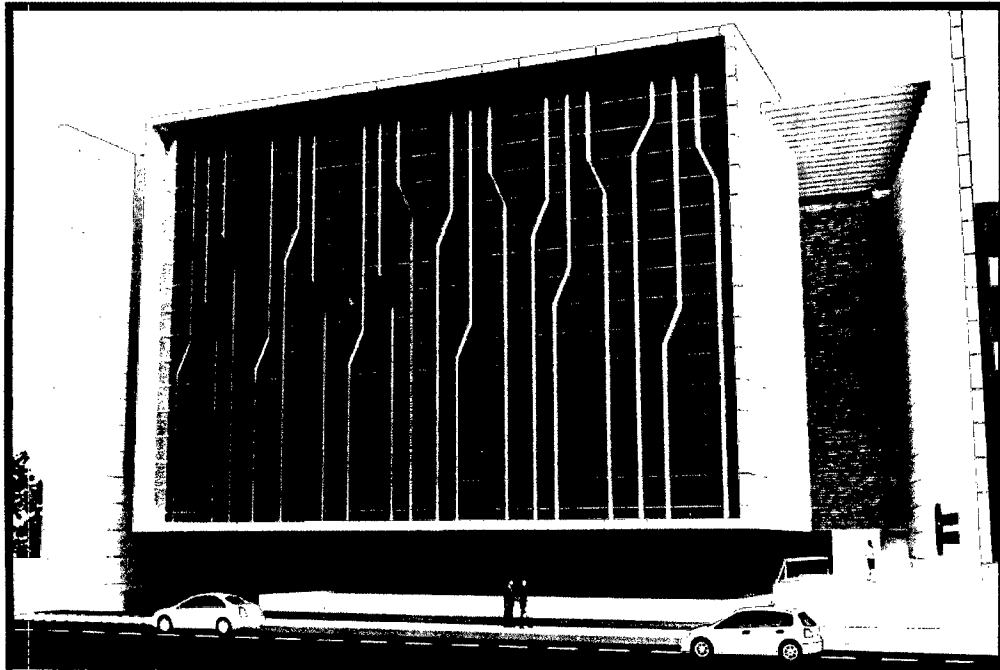


El proyecto es un Edificio Educativo de 5 pisos y 7 sótanos, construido en un área de terreno de 2,000 metros cuadrados y un área techada de 17,682 metros cuadrados. Posee un auditorio de triple altura en 3 sótanos, dos aulas magnas semicirculares con graderías, quince aulas típicas, un espejo de agua, una plaza central elíptica de abertura de 5 pisos y una fachada con marco e iluminación automatizada.

Generalidades del Proyecto Universidad del Pacífico

- Cliente: Universidad del Pacífico
- Área Responsable: Oficina de Infraestructura de la U. del Pacífico
- Supervisión y Gerencia: R. Ríos J. Ingenieros
- Plazo: 15 meses (Inicio: 17 de Noviembre del 2010 – Fin: 15 de Febrero del 2012). La inauguración del Edificio está prevista para los 50 años de la Universidad del Pacífico.

Fig.3.2: Vista de la Fachada del Proyecto Universidad del Pacífico



Proyectistas del Proyecto Universidad del Pacífico

- Arquitectura: Metrópolis
- Estructuras: R. Ríos J. Ingenieros
- IIEE, IISS e IIMM: Torres Ingenieros
- Seguridad, Detección y Alarma: EngineeringServices SAC
- Sistemas: Luis Llamosas

Alcance del Proyecto Universidad del Pacífico

- Área del terreno: 2,000 m²
- Área techada: 17,682 m²
- Excavación: 46,284 m³
- Concreto: 8,935 m³
- Acero: 884,842 Kg
- Encofrado: 40,170 m²
- Anclajes: 212 puntos
- Niveles: 12 pisos (7 sótanos y 5 niveles superiores)
- Altura: 7 sótanos (-26.15 m) y 5 niveles superiores (25.27 m)

- Post-tensado: 3,115 m

Factores Internos del Proyecto Universidad del Pacífico

- Fecha de entrega inamovible.
- Ingeniería básica y con definiciones pendientes en temas de acabado y equipamiento.
- Auditorio, aulas magnas, equipamiento con modalidad llave en mano y su orientación a la certificación LEED¹⁶.
- Propuesta técnica considera un plazo de ejecución de 15 meses, GyM oferta 14 meses y por gestión comercial se redujo a 12 meses.
- El concurso era por el 60% del alcance del proyecto y el complemento se iba a licitar luego.

Factores Externos del Proyecto Universidad del Pacífico

- Notable incremento de proyectos de construcción.
- Plazos finales peligrosos para el proyecto.
- Problemas con recursos humanos a todo nivel.
- Vecinos complicados.

Factores Claves de Éxito del Proyecto Universidad del Pacífico

- Uso masivo de equipos, debido al déficit de mano de obra especializada y a la necesidad de reducir el plazo de obra.
- Asignación de personal especializado en las partidas más críticas (encofrado, acero, concreto, equipos, calidad, información e ingeniería).
- Aprovechar las experiencias previas de nuestro Staff en sistemas constructivos no convencionales.
- Aplicar el conocimiento recibido por GyM, a través de las capacitaciones, charlas y papers.

¹⁶Leadership in Energy and Environmental Design. Es un sistema de certificación de edificios sostenibles, compuesta por un conjunto de normas.

- Mantener en alto la motivación de los colaboradores del equipo.
- Mantener la buena relación lograda con la Gerencia del Proyecto.
- Aprovechar la buena imagen y la confianza, lograda con el Cliente.
- Generar buenas relaciones con los vecinos.
- Transmitir el objetivo del proyecto a todos los involucrados.
- Integrar a los principales subcontratistas, al sistema de gestión de GyM.

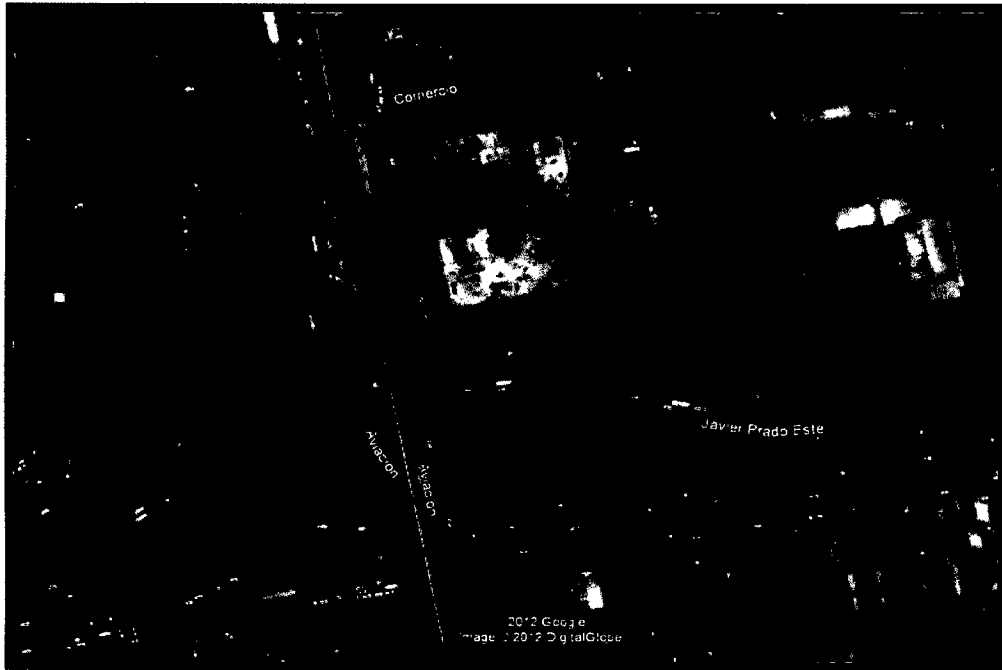
Estrategia Contractual del Proyecto Universidad del Pacífico

- Generar consultas y adicionales oportunamente, buscando su aprobación inmediata, antes de su ejecución.
- Generar hitos de definiciones del proyecto, para garantizar el plazo.
- Buscar que predominen las consideraciones de GyM, dentro del Contrato de Obra.
- Ganar la confianza de la supervisión y del cliente, respetando los canales formales y mostrando transparencia.
- Proponer a la supervisión, sistemas constructivos que disminuyan el plazo de ejecución e indirectamente los gastos de mano de obra.
- Agilizar la aprobación de adicionales, señalando el reducido plazo de obra.
- Convencer y sustentar al cliente que cualquier modificación al presupuesto generará retrasos en la entrega.

3.3.2. Caso 2: Gran Teatro Nacional

La obra se encuentra ubicada en la Av. Javier Prado Este 2465, en el Distrito de San Borja.

Fig.3.3: Vista Aérea de la Obra Gran Teatro Nacional (Google Earth)

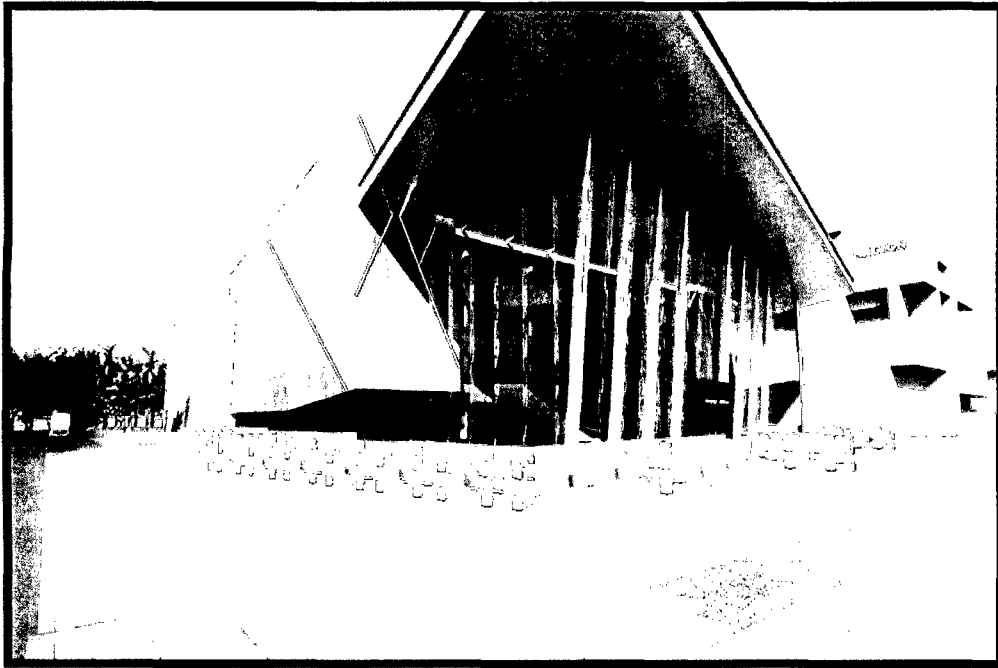


El proyecto "Gran Teatro Nacional" consiste en la construcción de una infraestructura multifuncional para albergar espectáculos y eventos artísticos, culturales, políticos y otros; siendo sus principales características contar con una avanzada tecnología teatral, con una acústica ajustable y con espacios específicos para las diferentes actividades culturales que se realicen. La edificación consta de 7 pisos y 4 sótanos, correspondientes al auditorio, escenario, palcos, área técnica, estacionamientos, zona de servicios y administración. Con una capacidad de 1500 personas, este Teatro formará parte del Eje de la Cultura, junto con el Museo de la Nación y la Biblioteca Nacional.

Generalidades del Gran Teatro Nacional

- Cliente: Ministerio de Cultura
- Socio: GMI Consultores
- Supervisión: CESEL Ingenieros SA
- Plazo de la Elaboración del Expediente: 40 días (Inicio: 27 de Octubre del 2010 – Fin: 10 de Diciembre del 2010).
- Plazo de la Ejecución de la Obra: 360 días (Inicio: 10 de Diciembre del 2010 – Fin: 04 de Diciembre del 2011).

Fig.3.4: Vista de la Fachada del Proyecto Gran Teatro Nacional



Proyectistas del Gran Teatro Nacional

- Arquitectura: De La Piedra Consultores
- Estructuras: Antonio Blanco Ingenieros EIRL
- Instalaciones Sanitarias: Equipo G SA
- Instalaciones Eléctricas: Fernando Mendoza T. EIRL
- Aire Acondicionado: Gutiérrez Castillo Ings.
- Iluminación Arquitectónica: Verónica Sáenz
- Tecnología Teatral y Acústica: Acústica & Sónica
- Evacuación y Señalización: EngineeringService SAC

Alcance del Gran Teatro Nacional

- Área del terreno: 54,340 m²
- Área techada: 26,116 m²
- Excavación: 21,150 m³
- Concreto: 20,078 m³
- Acero: 1'593,735 Kg
- Encofrado: 68,211 m²

- Metálica: 644,473 Kg

Factores Internos del Gran Teatro Nacional

- Fecha de prueba de funcionamiento el 15 de Julio del 2011 que serviría para una pre-inauguración por parte del gobierno.
- Ingeniería básica y con definiciones pendientes en temas de acabado y equipamiento.
- El EPC incluye los acabados, IIEE, IISS, IIMM, seguridad, iluminación arquitectónica y escénica, mobiliario, equipos de tecnología teatral y acústica. Incluyó la excavación del foso del teatro e instalaciones adyacentes para una profundidad de excavación a dos niveles 10 y 14 m.
- El especialista en tecnología teatral requiere de 5 meses para su instalación, de acuerdo a la programación del 15 de Febrero al 15 de Julio.

Factores Claves de Éxito del Gran Teatro Nacional

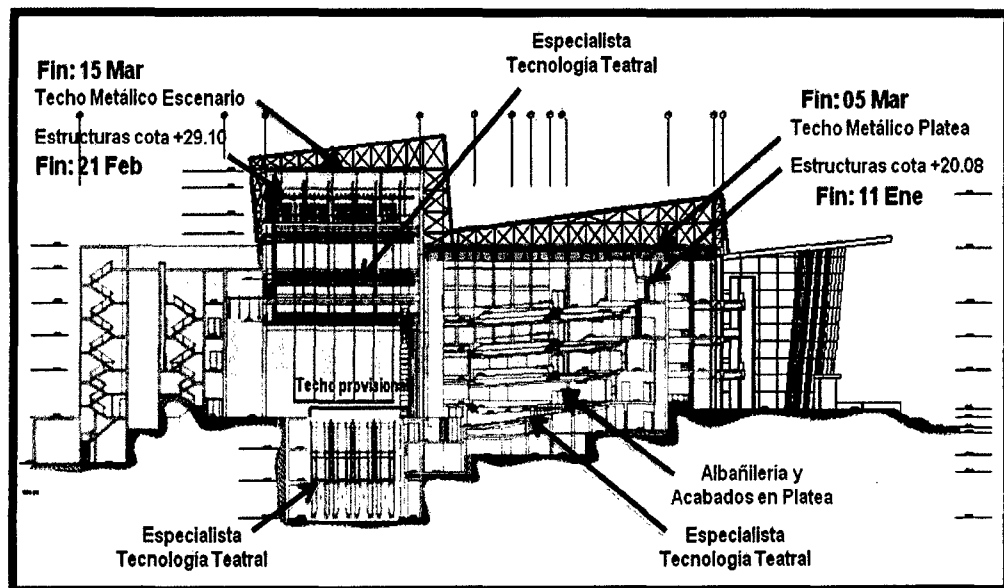
- La etapa de estructuras se desarrolló en 3 frentes en paralelo y acabados en 4 frentes.
- Se había considerado usar 2 torres grúas durante toda la etapa de estructuras y albañilería pero realmente se utilizaron 2 torres grúas y adicionalmente 1 grúa móvil.
- Asignación de personal especializado en las actividades más críticas (encofrado, estructuras metálicas, cobertura de cobre, cobertura de mármol ventilado, cobertura de fibrocemento, enchape de madera, butacas, aire acondicionado, tecnología teatral, audio y video, acústica e iluminación escénica).
- Identificar los recursos críticos (encofrado, andamios, mano de obra calificada y equipamiento teatral) y buscar nuevas tecnologías para aumentar sus rendimientos.
- Aprovechar las experiencias previas de nuestro Staff en sistemas constructivos no convencionales.
- Aplicar el conocimiento recibido por GyM, a través de las capacitaciones, charlas y papers.

- Mantener en alto la motivación de los colaboradores del equipo.
- Aprovechar la buena imagen y la confianza, lograda con el Cliente.
- Transmitir el objetivo del proyecto a todos los involucrados.
- Integrar a los principales subcontratistas, al sistema de gestión de GyM.

Hitos Importantes del Gran Teatro Nacional

- Culminar las estructuras en la platea el 11 de Enero del 2011.
- Inmediatamente iniciar con el montaje del techo metálico y culminar el 05 de Marzo esta partida.
- Culminar con las estructuras en el escenario el 21 de Febrero del 2011.
- Inmediatamente iniciar con el montaje del techo metálico y culminar el 15 de Marzo esta partida.

Fig.3.5: Hitos Importantes del Gran Teatro Nacional



Análisis del Cliente y del Contrato

- GyM tiene experiencia con el Estado pero no con el Ministerio de Cultura, el cual al ser nuevo no tiene la experiencia de realizar obras, por lo que tuvo que solicitar ayuda al Ministerio de Educación, el cual tiene experiencias en obras pero no de este tipo, al final esto genero un mayor grado de fiscalización que no era necesario y se tradujo en

documentación excesiva las cuales generan un consumo de recursos innecesarios por parte de la gestión de obra.

- El contrato está sujeto a la modalidad de suma alzada y llave en mano. El alcance del contrato contempla la elaboración del expediente técnico del proyecto y la ejecución del mismo, abarcando todas las especialidades: estructuras, acabados, instalaciones eléctricas y sanitarias; y equipamiento (tecnología teatral, acústica, iluminación escénica, automatización, aire acondicionado, sistema contra incendios, etc.).
- La única cláusula especial fue la de incluir una presentación en Julio del 2011 que serviría para una pre-inauguración por parte del gobierno lo cual siempre estuvo previsto así que se tomaron las provisiones para considerar dichos sobrecostos.
- Al ser una obra pública se considera que cualquier diferencia con el cliente debe resolverse en un arbitraje y a pesar de no haber estado de acuerdo en muchos momentos con las observaciones no se recurrió a esta cláusula hasta el final de manera que no se generen discrepancias que puedan afectar a la obra.
- Lamentablemente la buena disposición de parte de GyM no fue recíproca ya pesar que no se evitaron los problemas actuales se cree que la proactividad y la buena disposición son el camino a seguir.

Lecciones Aprendidas del Gran Teatro Nacional

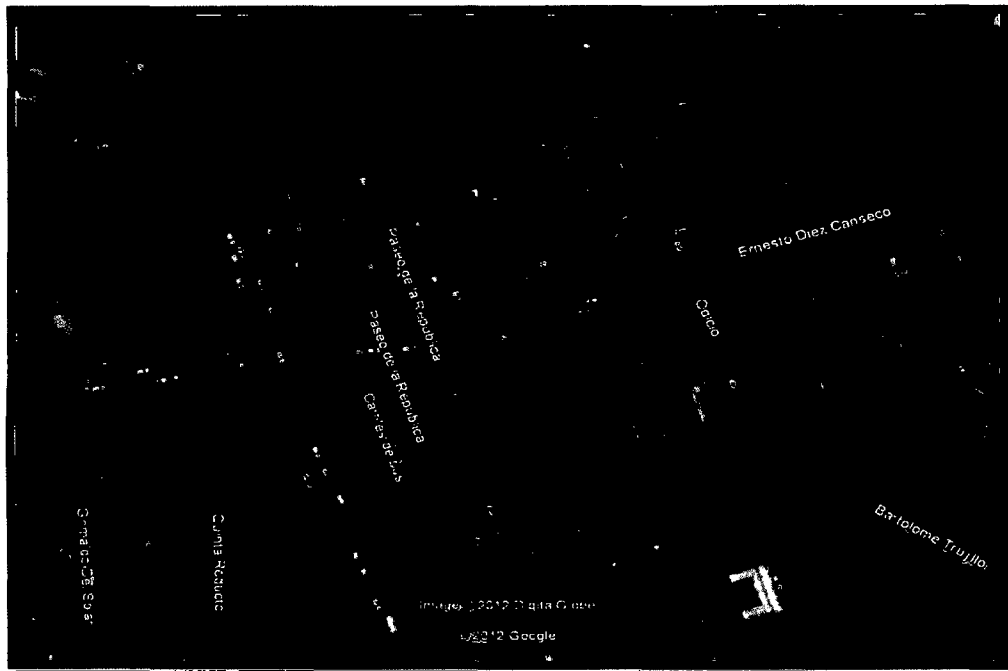
- Si se tiene una partida con metrado o extensión importante en la obra, es recomendable considerar más de un subcontratista para su ejecución, con el objetivo de no poner en riesgo el plazo del proyecto, caso de Técnicas Metálicas que no se dio abasto.
- La comunicación constante y asertiva, el conocimiento de los procedimientos de importaciones establecidas y un buen flujo de información entre proveedores, contratistas y agentes de aduana son de suma importancia para el éxito de la importación de los suministros solicitados. De no respetarse alguno de los pasos (presentación de documentación, información, pago de tasas, impuestos, etc.) la fecha de llegada de los pedidos se puede postergar, incrementando los costos de almacenaje y afectando el plazo de ejecución de la obra.

- Definir las tolerancias y rangos de aceptación en coordinación con la Gerencia del Proyecto antes de algún requerimiento de campo (supervisión) o ejecución de trabajo, de acuerdo a normas, especificación técnica y criterio.
- Es conveniente contar con la totalidad de los documentos del SGC desde el inicio de un proyecto. Ello brinda el beneficio de emplear e identificar a tiempo las herramientas a utilizar en obra (procedimientos, control, formatos).
- Promover un programa de Capacitaciones de Calidad para los procesos constructivos de obra antes de su ejecución, dirigido al personal obrero y Staff, ello permite lograr la eficiencia de los trabajos y disminuir las observaciones y el Porcentaje de No Conformidades.
- Realizar las charlas diarias de seguridad y las reuniones con los capataces y jefes de grupo en la zona de trabajo permite identificar mejor los riesgos de las actividades y en consecuencia, prever la forma de mitigarlos.
- En las obras estatales, por regirse por la Ley de Contrataciones del Estado y el Reglamento correspondiente, se sugiere asesoría legal permanente. En el caso del Gran Teatro Nacional, se contó físicamente con el apoyo de una abogada y un ingeniero civil con experiencia en obras del estado, lo cual facilitó el manejo de la documentación y flujo de información de acuerdo a los procedimientos que usualmente se siguen en este tipo de contrato.
- Es muy importante en obras con el Estado documentar todas las comunicaciones con la supervisión y cliente en caso de discrepancias que deban resolverse en un arbitraje. Este procedimiento debe tomarse como algo natural en el estado pues sus funcionarios son muy temerosos y prefieren esta vía en vez de poner su nombre en algún tema controversial.

3.3.3. Caso 3: Edificio Residencial Neo 10

La obra se encuentra ubicada en la Av. Ernesto Diez Canseco 533, en el Distrito de Miraflores.

Fig.3.6: Vista Aérea de la Obra Neo 10 (Google Earth)

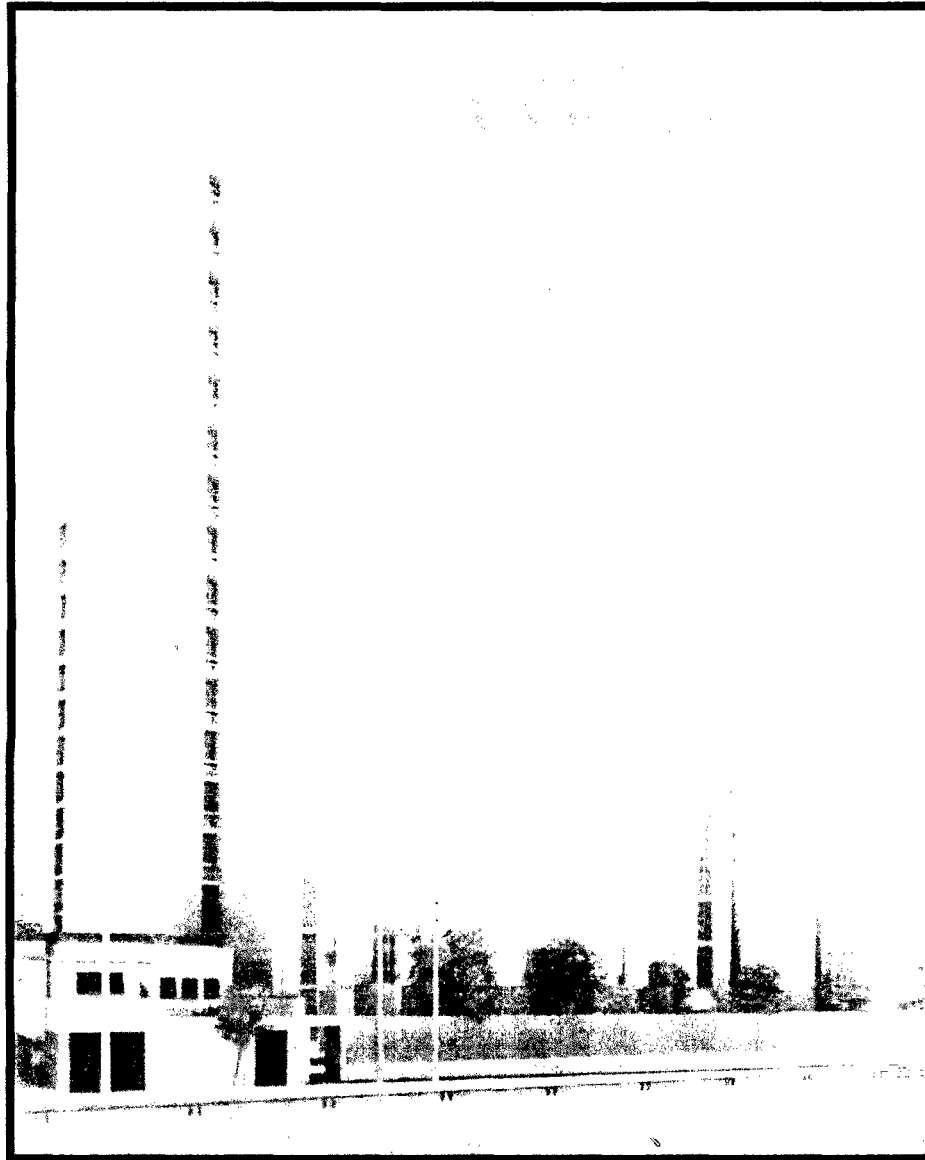


El proyecto contempla la construcción de 3 torres residenciales de 17 pisos y 4 sótanos de concreto armado aporricado y losas aligeradas, que se unen gracias a un patio interior de 750 m². Entre las áreas comunes destacan una piscina deportiva techada y temperada, una sala de usos múltiples y un gimnasio equipado.

Generalidades del Proyecto Neo 10

- Cliente: GMV S.A.
- Construye: GyM S.A.
- Supervisión: GMV S.A.
- Plazo: 15 meses (Inicio: Enero del 2011 – Fin: Marzo del 2012).

Fig.3.7: Vista de la Fachada del Proyecto Neo 10



Proyectistas del Proyecto Neo 10

- Arquitectura: Vicca Verde – Borasino Arquitectos
- Estructuras: Prisma Ingenieros Consultores SAC
- Instalaciones Sanitarias: Augusto Valdivia Ingenieros EIRL
- Instalaciones Eléctricas: Fernando Mendoza Tejada EIRL
- Instalaciones de Gas: Roberto Stiglich EIRL
- Aire Acondicionado: Gutiérrez Castillo Ings.
- Evacuación y Señalización: EngineeringService SAC

Alcance del Proyecto Neo 10

- Área del terreno: 2,200 m²
- Área techada: 19,534 m²
- Excavación: 26,448 m³
- Concreto: 9,871 m³
- Acero: 977,519 Kg
- Encofrado: 44,377 m²
- Anclajes: 122 puntos
- N° Edificios del Proyecto: 3 torres
- N° Departamentos: 116 departamentos
- Niveles: 4 sótanos y 17 niveles superiores
- Ascensores: 6 ascensores

Factores Internos del Proyecto Neo 10

- Para la elaboración del Proyecto se han tomado en cuenta todas las normativas existentes en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y de la legislación vigente en el distrito de Miraflores, aplicados para edificios multifamiliares.
- El Proyecto Edificio Residencial Neo 10 se erige sobre la acumulación de 4 lotes (Sub Lote 1 ubicado en la Av. Paseo de la República 5681, Sub Lote 2 ubicado en la Av. Paseo de la República 5693, Sub Lote 3 ubicado en Av. Paseo de la República 5697 y el Sub Lote 4 ubicado en la Av. Diez Canseco 533–537).
- Cuenta con 116 departamentos de uno, dos o tres dormitorios, una piscina deportiva techada y temperada, una sala de usos múltiples y un gimnasio equipado. Además contará con cuatro niveles de sótano donde se ubicarán los 166 estacionamientos.

Factores Externos del Proyecto Neo 10

- Notable incremento de proyectos de construcción.
- Plazos finales peligrosos para el proyecto.

- Problemas con recursos humanos a todo nivel.
- Vecinos complicados.

Factores Claves de Éxito del Proyecto Neo 10

- Asignación de personal especializado en las partidas más críticas (encofrado, acero, concreto, equipos, calidad, información e ingeniería).
- Aprovechar las experiencias previas de nuestro Staff en sistemas constructivos no convencionales.
- Aplicar el conocimiento recibido por GyM, a través de las capacitaciones, charlas y papers.
- Mantener en alto la motivación de los colaboradores del equipo.
- Generar buenas relaciones con los vecinos.
- Transmitir el objetivo del proyecto a todos los involucrados.
- Integrar a los principales subcontratistas, al sistema de gestión de GyM.

Estrategia Contractual del Proyecto Neo 10

- Generar consultas y adicionales oportunamente, buscando su aprobación inmediata, antes de su ejecución.
- Generar hitos de definiciones del proyecto, para garantizar el plazo.
- Proponer a la supervisión, sistemas constructivos que disminuyan el plazo de ejecución e indirectamente los gastos de mano de obra.

3.4. VIGAS PRE-ARMADAS

Tradicionalmente, en las edificaciones de sistemas aporricados, el armado de las vigas y columnas, en general, de cualquier elemento, se realiza dentro del frente de trabajo; es decir, se realiza sobre el sitio donde finalmente el elemento debe de encontrarse instalado. Por lo tanto, sí decimos que dicho proceso se realizará fuera del área de construcción, quiere decir que, es a este proceso al que se está identificando en el presente estudio como *pre-armado*. Siendo el objeto de estudio del presente las *vigas pre-armadas*.

En general, el uso de elementos pre-armados se presenta como alternativa para mejorar el uso de recursos, implica cambios en procesos constructivos y por lo tanto es necesario adaptar la programación y todas sus aplicaciones de control.

La elaboración de pre-armados puede desarrollarse en el interior de la obra generando mejoras en los procesos constructivos, plazos de ejecución menores, oportuno control de calidad y costos más bajos. El uso de pre-armados en edificios para la etapa de estructuras impulsa el mayor desarrollo de los procesos constructivos que actualmente se vienen empleando en obras de nuestro medio; el resultado de la implementación de mejoras en los procesos constructivos se traduce en mayor productividad incrementando así el nivel de competitividad.

Si tenemos en cuenta que, para el casco estructural de una edificación aporticada, las operaciones que forman parte del tren de producción son:

Tabla 3.1: Operaciones Relacionadas al Casco Estructural en una Edificación Aporticada (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN
1	Trazo y Replanteo
2	Acero de Columnas
3	Encofrado de Columnas
4	Concreto de Columnas
5	Encofrado de Fondos de Vigas y un Costado
6	Acero de Vigas y Encofrado del otro Costado
7	Apuntalamiento de Pre-losa y Colocación de Pre-losa
8	Acero de refuerzo en Pre-losa (negativo) y Colocación de Vías para las Instalaciones Eléctricas y Sanitarias
9	Concreto de Losa

A groso modo, esto quiere decir entonces que, para poder construir ordenadamente la estructura del edificio, se debe de realizar cada operación durante un día.

Pero si tomamos en cuenta la demanda de menores plazos para la ejecución de trabajos, el cumplimiento de la programación toma vital importancia debido a que con plazos más cortos la recuperación del tiempo perdido por incumplimiento de

lo programado puede representar mayores dificultades y por lo tanto eleva los costos.

Es en este sentido que para poder cumplir con la programación establecida y, en el mejor de los casos, terminar la edificación antes del plazo, la necesidad de agrupar estas operaciones para terminar un sector antes de los 9 días es básica.

Es así como, para poder cumplir con los plazos establecidos en la programación, es necesario agrupar las operaciones, una alternativa sería la que se muestra a continuación:

**Tabla 3.2: Agrupación de las Operaciones y parte del Tren de Producción
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**

FECHA		13-07	14-07	15-07	18-07	19-07	20-07	21-07
DÍA 1	Trazo y Replanteo	S1P04	S2P04	S3P04	S4P04	S1P05	S2P05	S3P05
	Acero de Columnas	S1P04	S2P04	S3P04	S4P04	S1P05	S2P05	S3P05
	Encofrado de Columnas	S1P04	S2P04	S3P04	S4P04	S1P05	S2P05	S3P05
	Concreto de Columnas	S1P04	S2P04	S3P04	S4P04	S1P05	S2P05	S3P05
DÍA 2	Encofrado de Fondos de Vigas y un costado	S2P03	S3P03	S4P03	S1P04	S2P04	S3P04	S4P04
	Acero de Vigas y Encofrado	S2P03	S3P03	S4P03	S1P04	S2P04	S3P04	S4P04
	Apuntalamiento de Pre-losa y Colocación de Pre-losa	S2P03	S3P03	S4P03	S1P04	S2P04	S3P04	S4P04
	Acero Negativo y Colocación de Vías para IISS e IIEE	S2P03	S3P03	S4P03	S1P04	S2P04	S3P04	S4P04
	Concreto de Losa	S2P03	S3P03	S4P03	S1P04	S2P04	S3P04	S4P04

Dónde S1, S2, S3 y S4 representan los sectores en los que fue dividido el piso típico de la torre (conjunto de pisos superiores), con la finalidad de realizar un sector diario. P03, P04 y P05 representan al tercer piso, cuarto piso y quinto piso respectivamente del proyecto bajo estudio.

Es en este sentido donde surge la necesidad de implementar nuevos procesos constructivos que nos faciliten agrupar estas operaciones, uno de estos procesos constructivos es el pre-armado de elementos.

Continuidad de la Cadena de Construcción en Objetos Concentrados¹⁷

Construcción en cadena de la torre del Edificio Educativo Universidad del Pacífico (5 niveles superiores típicos de concreto armado aporcado).

**Tabla 3.3: Agrupación de las Operaciones
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**

	Nº	OPERACIÓN
DÍA 1	1	Trazo y Replanteo
	2	Acero de Columnas
	3	Encofrado de Columnas
	4	Concreto de Columnas
DÍA 2	5	Encofrado de Fondos de Vigas y un costado
	6	Acero de Vigas y Encofrado del otro costado
	7	Apuntalamiento de Pre-losa y Colocación de Pre-losa
	8	Acero Negativo y Colocación de Vías para IISS e IIEE
	9	Concreto de Losa

Se observa el desmembramiento total del proceso de construcción en operaciones y también el agrupamiento de estas operaciones propuesto como alternativa, siendo éste de 2 días.

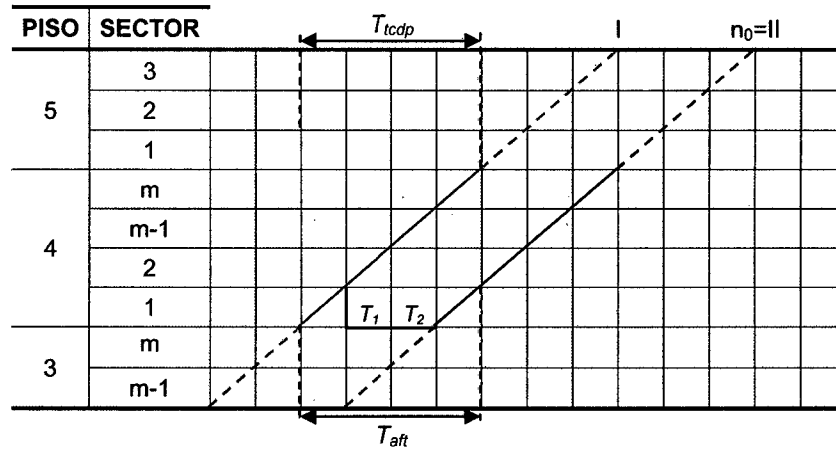
Teniendo en consideración estas características, la cadena de construcción que mejor se adecua para el análisis es la cadena de construcción rítmica. Es en este sentido que tenemos:

**Tabla 3.4: Normal Tecnológica – Procesos de Colocación
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**

SECTOR	Nº	OPERACIÓN	DURACIÓN															
1	1	Día 1 (1, 2, 3 y 4)	k				k				k				k			
	2	Día 2 (5, 6, 7, 8 y 9)		T ₁	T ₂	k		T ₁	T ₂	k		T ₁	T ₂	k		T ₁		
FECHA:			01	04	05	06	07	08	11	12	13	14	15	18	19	20		

¹⁷ Copias de clase del Dr. Juan Guillermo Ríos Segura. "Programación de Obras". Departamento Académico de Construcción UNI-FIC. Lima, Perú. 2009.

**Fig.3.8: Ciclograma del Piso Típico de la Torre
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



De la condición de continuidad:

$$T_{tcdp} \geq T_{aft}$$

T_{tcdp} : Tiempo total del ciclo de producción

T_{aft} : Tiempo del Ciclo de apertura de frente de trabajo

Para el caso de la cadena rítmica:

$$T_{tcdp} = m \times k$$

$$T_{aft} = [n_0 + \sum (c - 1)] \times k + \sum t_T$$

m : Cantidad de unidades de producción (sectores del piso típico)

k : Módulo de ciclicidad

c : Factor de multiplicidad del módulo de ciclicidad

t_T : Duración de los tiempos tecnológicos

De donde:

$$m \times k \geq [n_0 + \sum (c - 1)] \times k + \sum t_T$$

$$m \geq n_0 + \sum (c - 1) + \frac{\sum t_T}{k}$$

$$m \geq 2 + 0 + \frac{2}{1}$$
$$m \geq 4$$

Por lo tanto, la sectorización del piso típico de la torre del Edificio Educativo Universidad del Pacífico corresponde a 4 sectores.

Distribución de Sectores para el Trabajo

Para el armado del planeamiento de obra se planteó sectorizar el área total de trabajo, dividiéndolo en sectores, de manera que se forme un *tren de actividades*, entiéndase por esto la manera ordenada y secuencial de desarrollar las actividades, uno a continuación de otro, a similitud de los vagones de un tren, los cuales van uno a continuación de otro, de la misma manera se planificó para los proyectos en mención, iniciándose con los elementos verticales (encofrado, reforzado y vaciado de columnas) que darían paso a los elementos horizontales (encofrados, reforzado, vaciado de vigas y posteriormente pre-losas).

En la figura 3.9 observamos la secuencia del *tren de actividades*, la cual inicia con el sector naranja, nombrado Día 1, en el cual apreciamos que se tienen como actividades principales: colocar el acero de refuerzo vertical en elementos estructurales (columnas, placas, etc.), encofrar cada uno de los elementos verticales mencionados anteriormente y el vaciado de concreto en cada uno de los elementos estructurales encofrados previamente, al término de estas actividades se abrirán frentes para inicio de la construcción de cada una de las vigas proyectadas.

El siguiente vagón del tren nos lleva al sector azul, nombrado Día 2, que solamente destaca una actividad primordial: encofrar el fondo para las vigas, en este vagón solo se considera esta actividad debido a la complejidad de la colocación de dicho encofrado, puesto que este encofrado necesita de apuntalamiento, que implica un tiempo extra para el armado de los encofrados.

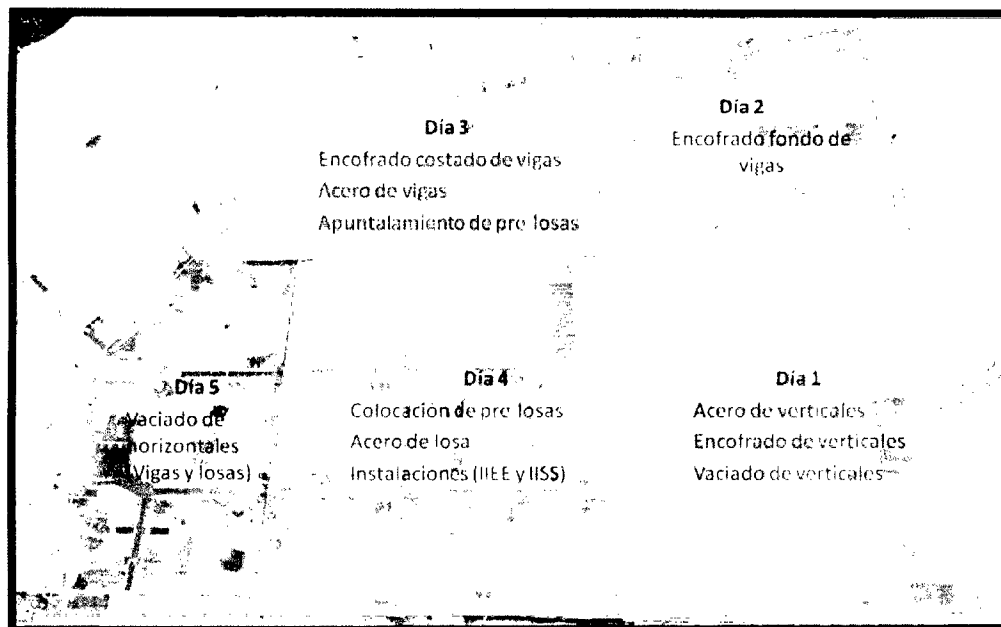
Consecuentemente con el fin del Día 2 tenemos el sector amarillo, nombrado Día 3, el cual lógicamente son actividades en torno a las vigas mencionadas en el

Día 2, entre estas actividades tenemos: encofrar los costados de las vigas, colocar el acero de refuerzo en las vigas, una vez terminados los procedimientos con las vigas, la última actividad primordial de este vagón se refiere al apuntalamiento de las pre-losas, de manera que se encuentre todo listo para la colocación de las pre-losas.

Para el vagón de nombre Día 4 tenemos como actividades principales: colocación de las pre-losas, colocación de acero de refuerzo en las pre-losas y colocación de las vías para las instalaciones eléctricas y sanitarias.

Finalmente el último vagón del tren de actividades se denomina Día 5, el cual tiene como actividades principales el vaciado de elementos estructurales horizontales, siendo estas las vigas y las pre-losas principalmente.

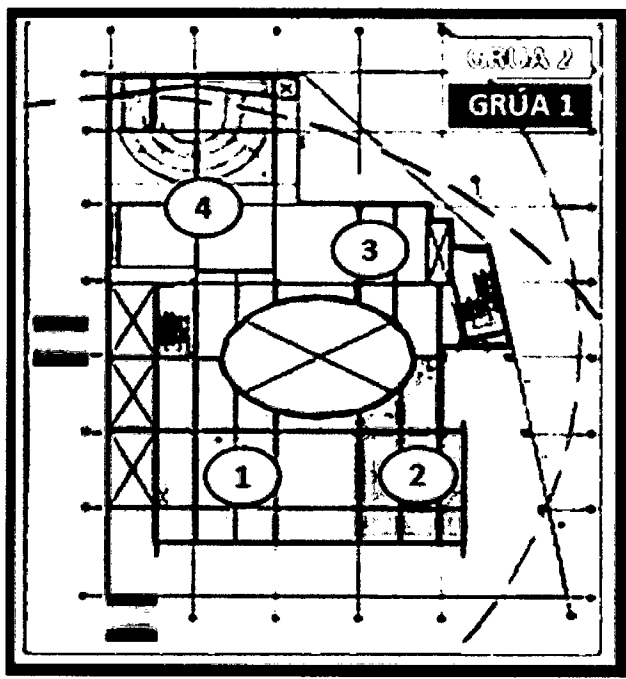
**Fig.3.9: Tren de Actividades del Planeamiento para los Sótanos
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



Todo este planteamiento es adecuado para las plantas de los sótanos, es decir, la división en 5 sectores del área total para conformar el tren de actividades. Para los pisos superiores de la construcción, llámese a partir del piso 1 en adelante, se puede realizar otro planeamiento.

A todo el conjunto de pisos superiores, se le denominó *Torre*; para los trabajos de todo este conjunto se desarrolló un planeamiento basado en conceptos de la planificación anterior, para este caso se realizó un tren de actividades con solamente 4 sectores.

**Fig.3.10: Tren de Actividades del Planeamiento para la Torre
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



De igual manera que para los sótanos, el tren de actividades se inicia con el vagón correspondiente al sector 1, el cual se encuentra destinado a trabajos con elementos verticales, tales como la colocación del acero de columnas, el encofrado de columnas y el vaciado de las columnas.

El vagón correspondiente al sector 2 se destina a trabajos con elementos horizontales, colocación de fondo de viga, colocación de aceros para viga y encofrados de costado de vigas.

El sector 3 con su vagón destinado a trabajos de colocación de pre-losas, apuntalamiento de pre-losas, colocación de acero para losa y colocación de instalaciones eléctricas y sanitarias.

El sector 4 es un vagón dividido, dado que se distribuyen los trabajos tanto para el vaciado de vigas y vaciado de losas, pero solo para la porción que pertenece a la torre del edificio.

Actividades de Producción

Cabe resaltar que el sistema de construcción utilizado para este fin no es el tradicional, sino el sistema constructivo utilizado es el denominado *sistema constructivo a base de pre-armados*. Entre los procesos más importantes de este sistema constructivo tenemos:

**Tabla 3.5: Lista de Procesos Importantes en el Sistema a Base de Pre-armados
(Proyecto Universidad del Pacífico y Neo 10, GyM S.A.)**

PROCESO	ELEMENTO PRE-ARMADO
Construcción de Columnas	Acero pre-armado para columna
Construcción de Vigas	Acero pre-armado para viga
Construcción de Losas	Pre-losa
Construcción de Placas	Acero pre-armado para placa

Proceso de Construcción de Vigas

Este proceso producirá uno de los elementos estructurales más primordiales para la edificación, las vigas estructurales. Esta actividad requiere de una mayor cantidad de elementos en comparación con las columnas, de manera que es más dificultosa su construcción.

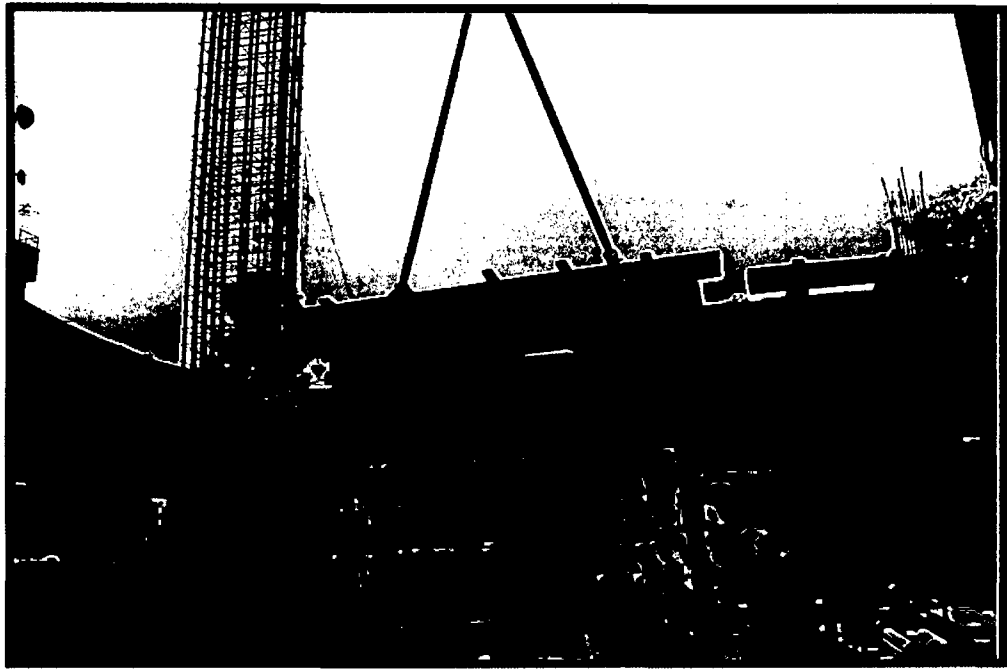
El primer elemento indispensable para la construcción de las vigas, son los denominados *encofrados para fondos de vigas*. Elemento que se encuentra compuesto por una serie de soleras horizontales como base, específicamente este elemento presenta dos soleras horizontales en las cuales van colocadas en forma perpendicular soleras pequeñas y en la parte superior de estas va colocado el encofrado de fondo para viga.

Una vez dispuesto correctamente el armazón del encofrado para fondo de viga, se deberá enganchar correctamente dicho elemento, de manera que se pueda realizar su traslado con toda la seguridad del caso. Siendo el traslado de

encofrado para fondo de viga un proceso muy beneficioso para la construcción de la viga, puesto que agiliza el proceso de encofrado de la viga. Con la grúa torre se consigue trasladar estos elementos con mucha facilidad al lugar que se desee.

La colocación de encofrado para fondo de viga es la parte del procedimiento de construcción de la viga que tiene más dificultad, ya que para ubicar correctamente el encofrado de fondo de viga se hacen uso de puntales, los cuales deben ser regulados adecuadamente. Con ayuda de la grúa torre, que mantiene suspendida la carga, los puntales son asegurados con un sistema de tornillos que se encuentran acoplados en los puntales, y a su vez los puntales son conectados a las soleras inferiores del fondo de viga. Una vez que se encuentra asegurado correctamente todo el sistema, se procede al desenganche del elemento.

**Fig.3.11: Traslado y Colocación de Encofrado para Fondo de Viga
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**

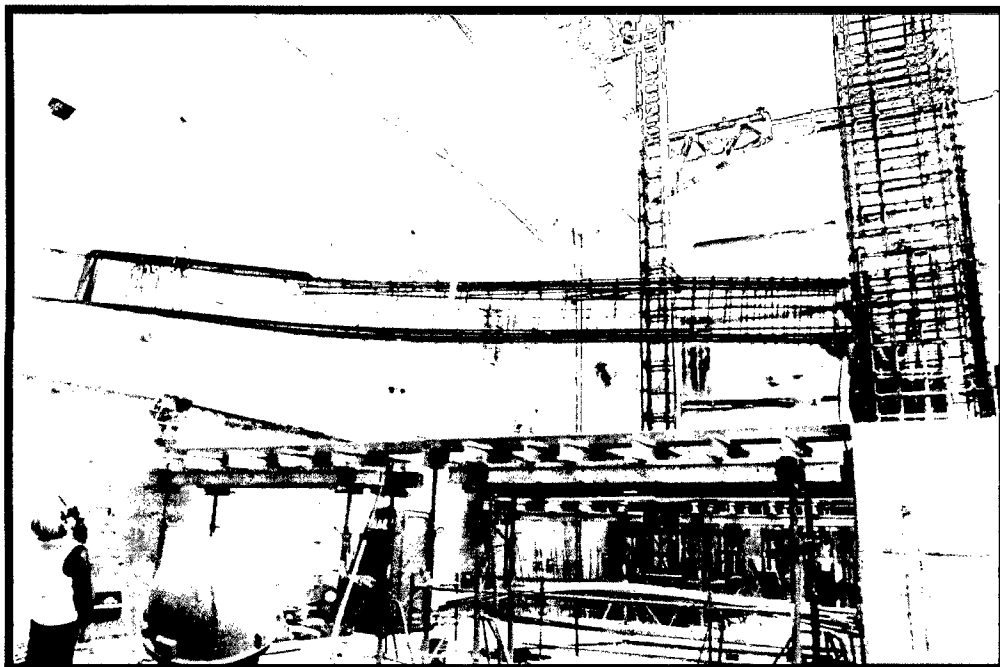


El siguiente elemento a colocar es el acero pre-armado, por lo tanto se procede al enganchado de este elemento, de manera que se encuentre adecuadamente seguro para el proceso de traslado. Una vez debidamente enganchado el acero pre-armado, este es trasladado en una disposición horizontal, de manera que al

momento de realizar el procedimiento de colocación, se realice de manera sencilla.

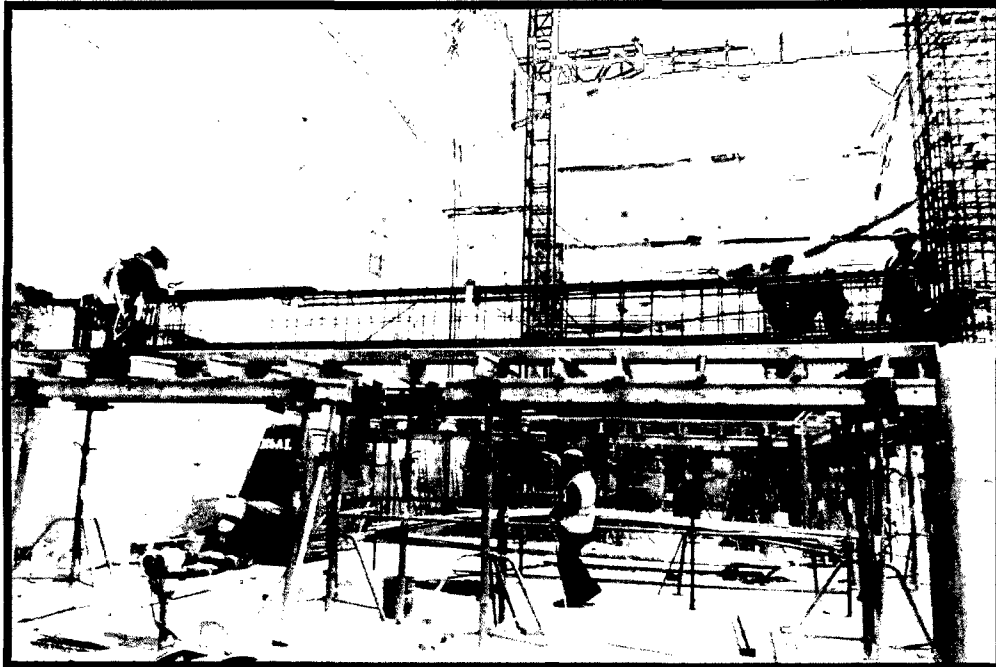
Al finalizar el traslado de la viga pre-armada al lugar correspondiente, se procede a la colocación del acero pre-armado en la superficie del fondo de viga colocado previamente. Cabe señalar que para poder colocar una viga pre-armada, es necesario tener colocados aproximadamente dos tramos de fondo de viga.

**Fig.3.12: Traslado y Colocación del Acero Pre-armado
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



Posteriormente a la colocación del acero pre-armado, el desenganche es un procedimiento muy fácil de realizar, por lo que no necesita mayor explicación.

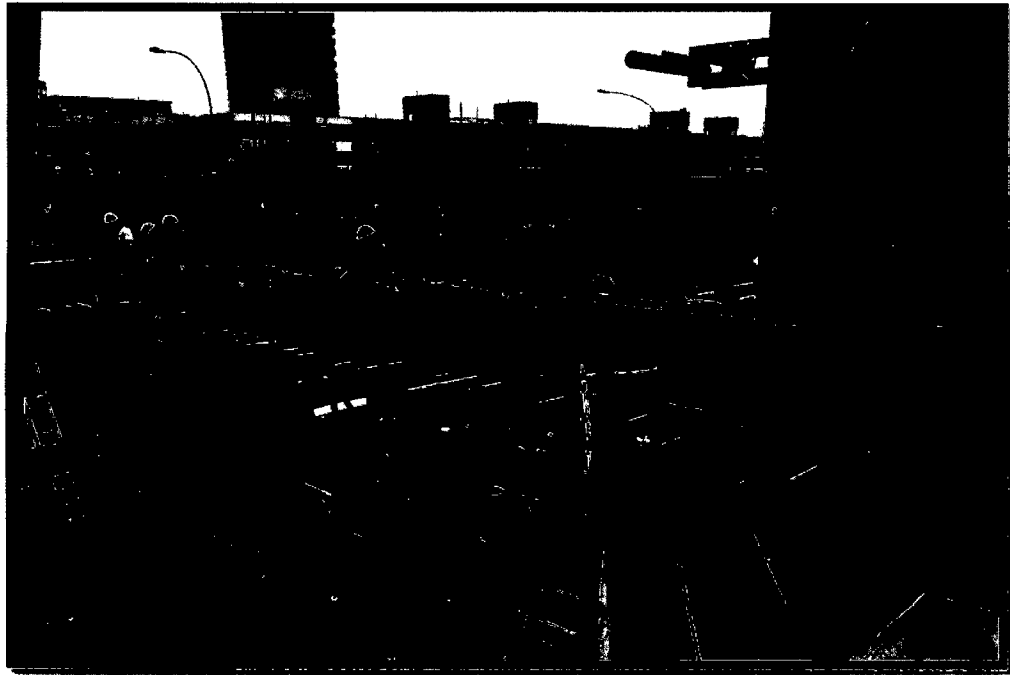
**Fig.3.13: Desenganche del Acero Pre-armado
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



Con la finalidad de permitir el vaciado para la construcción de la viga, se procede con la colocación de los encofrados laterales. Al llegar el encofrado a la zona correspondiente de colocación, se ubica adecuadamente la posición final del encofrado, de manera que solamente se aseguren los tornillos del encofrado.

Después del curado adecuado de los elementos vaciados, período que debe ser mínimamente 7 días, se procederá al desencofrado de las vigas producidas, de manera que los encofrados sean utilizados para posteriores elementos estructurales del mismo tipo.

**Fig.3.14: Desencofrado de las Vigas
(Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)**



3.4.1. Pre-armado

La mayoría de las actividades que forman parte de los procesos constructivos en la etapa de estructuras se pueden congregan en tres fases:

- ✓ *Habilitación:* En esta fase se congregan las actividades que permiten preparar el material o equipo para posteriormente proceder al armado de los elementos.
- ✓ *Armado:* Agrupa las actividades cuyo objetivo es el ensamblaje de partes de los elementos que conformarán el futuro edificio.
- ✓ *Colocación:* Está compuesto por el grupo de actividades destinadas al posicionamiento o montaje de las partes pre-armadas en el lugar que ocuparán definitivamente dentro de la edificación.

En la mayoría de los procesos constructivos empleados en el medio, es decir cuando se emplea la forma tradicional, la *habilitación* se realiza en banco, dentro de los límites del terreno de la obra pero fuera del edificio. El *armado* y la *colocación* se realizan en la parte del edificio que ocupará definitivamente.

Cuando se emplean elementos pre-armados, la *habilitación* y el *armado* se realizan en banco o fuera de la edificación, siendo la *colocación* la única que se efectúa en la parte del edificio que ocupará definitivamente.

Cabe mencionar que para la realización del estudio, nos enfocaremos en la utilización de aceros dimensionados para el pre-armado de vigas.

3.4.2. Acero Dimensionado

Buscando siempre contribuir con el incremento de la productividad y eficiencia de la construcción, Aceros Arequipa ha desarrollado el servicio de Acero Dimensionado®. Este servicio consiste en la preparación de barras de construcción, cortadas y dobladas, según las necesidades de cada proyecto, convirtiéndolas en un producto hecho a la medida que no necesita transformación adicional y llega a la obra listo para ser instalado, minimizando la ejecución de procesos que no agreguen valor.

**Fig.3.15: Servicio de Acero Dimensionado®
(Aceros Arequipa S.A.)**



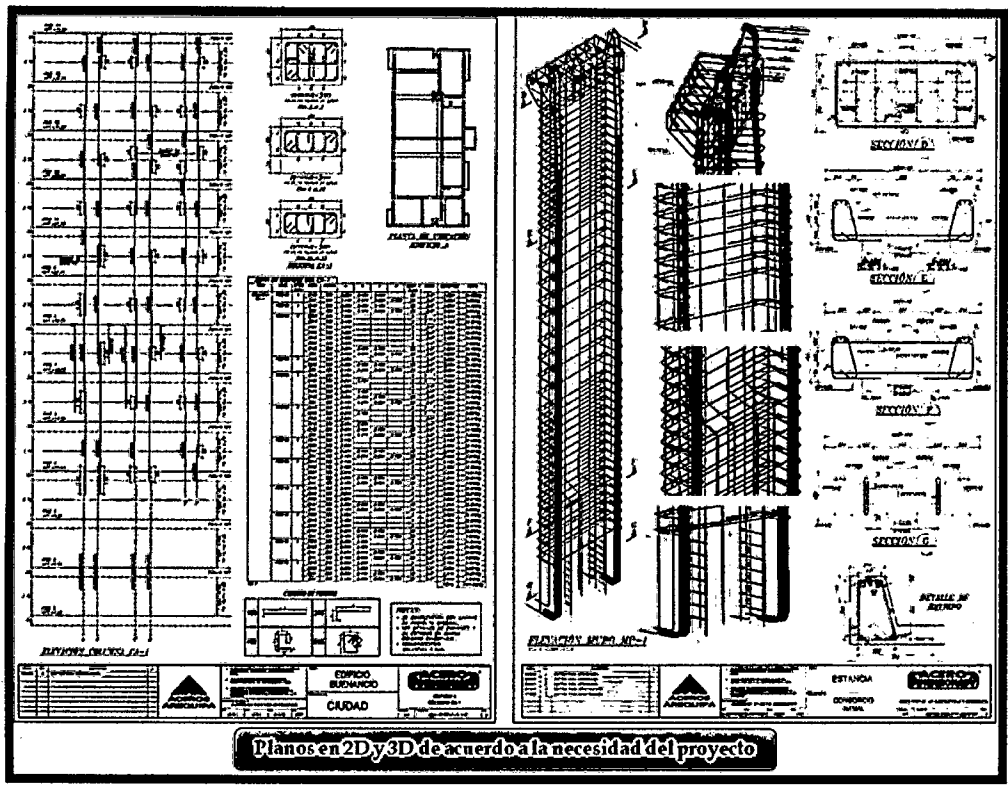
El Acero Dimensionado es aplicable a todo tipo de obra (infraestructura, edificaciones, grandes y pequeños edificios industriales, obras mineras, entre

otros) y elemento estructural, permitiendo el uso eficiente y ordenado de las barras de acero en la obra.

Etapas del Servicio:

- i. *Elaboración de Planos con el Detalle de la Instalación de Acero:* Para iniciar el abastecimiento con Acero Dimensionado, el cliente hace la entrega de los planos de estructuras y de arquitectura, para que se puedan elaborar los Planos de Detalle de Instalación de Acero de cada una de las estructuras del proyecto, en ellos se precisa la forma como debe ser instalado el acero para cada estructura.

**Fig.3.16: Planos de Detalle de Instalación de Acero
(Aceros Arequipa S.A.)**

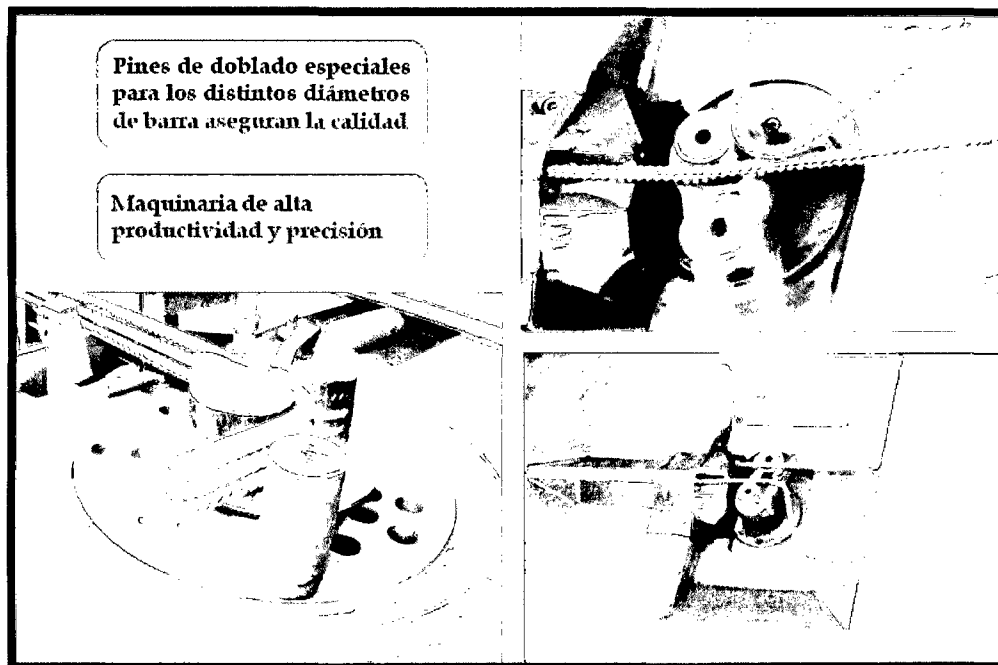


El uso de los Planos de Detalle permite determinar la cantidad exacta de acero que requiere la obra. Es importante que la información del proceso constructivo, los cambios de planos y el cronograma de avance, sean proporcionados por el cliente para asegurar el abastecimiento oportuno

del producto. Para esto se establece una estrecha coordinación con los ingenieros responsables de la planificación en obra.

- ii. *Fabricación:* Con el visto bueno del cliente a los Planos de Detalle de Instalación de Acero, se inicia el proceso de fabricación optimizando cortes y dobleces, asesorando al cliente en la mejora del proceso constructivo de la obra. El control de calidad implantado en el proceso constructivo del Acero Dimensionado, permite garantizar un producto que cumpla con las mayores exigencias de los diversos proyectos de construcción civil. Este control permite contar con barras correctamente dobladas, medidas exactas en las piezas y contar con anclajes, empalmes y detalles más seguros y fáciles de instalar.

**Fig.3.17: Proceso de Fabricación: Cortes y Dobleces
(Aceros Arequipa S.A.)**



El proceso industrial de Aceros Arequipa, certificado bajo la Norma ISO 9001, establece un control de calidad estricto de la producción de piezas.

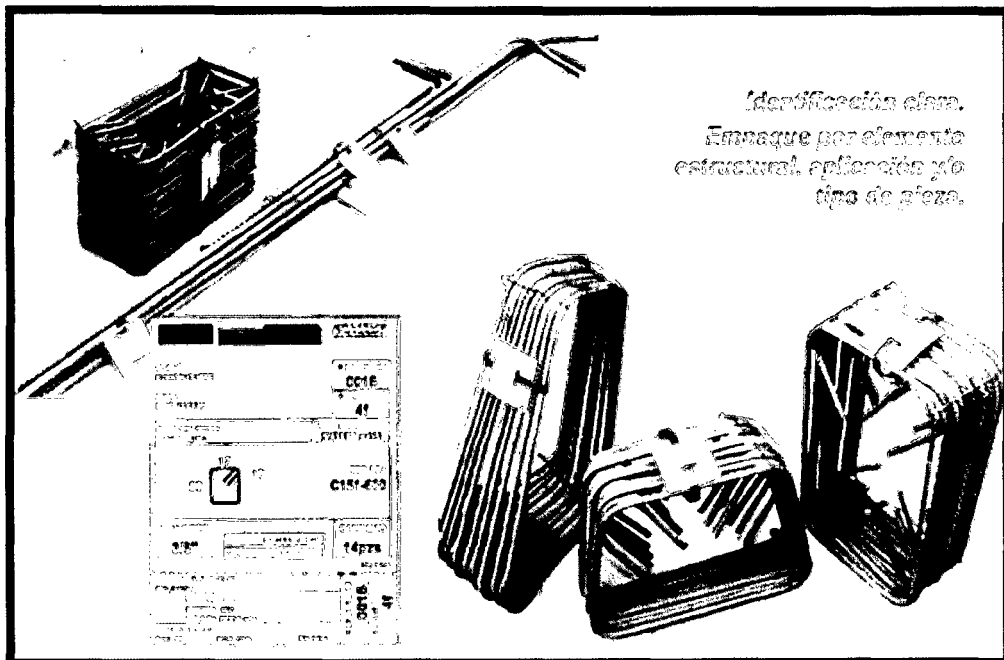
- iii. *Empaquetado y Entrega en Obra:* El empaquetado y entrega del material en obra están diseñados pensando en las necesidades de almacenamiento e instalación de cada obra, por ello el servicio ofrece un

empaquetado por aplicación que contiene todas las piezas necesarias para armar un elemento estructural. Otra manera de empaquetado es por forma, donde cada paquete contiene piezas iguales que se utilizarán en varios elementos estructurales.

Los camiones grúa entregan los paquetes puestos en obra, facilitando la descarga del material y éstos a su vez son entregados debidamente identificados con etiquetas metálicas codificadas, que facilitan la identificación de las piezas, junto con los Planos de Detalle de Instalación.

El almacenamiento de los paquetes es definido en la obra, separando las piezas por estructura a la cual pertenecen y ordenándolas de manera que facilite su ubicación, permitiendo así un rápido movimiento de las piezas para su instalación.

**Fig.3.18: Empaquetado del Acero Dimensionado
(Aceros Arequipa S.A.)**



Principales Obras Construidas con Acero Dimensionado:

- ✓ Ampliación de la Clínica Ricardo Palma en la Av. Javier Prado.
- ✓ Intercambio Vial Av. Venezuela – A. Universitaria.
- ✓ Edificio Malecón Armendáriz.

- ✓ Centro de Convenciones Colegio Médico del Perú.
- ✓ Golf Los Incas.
- ✓ SODIMAC en la Av. Tacna.
- ✓ Nueva Sede Universidad Cayetano Heredia.
- ✓ Centro Comercial Real Plaza – Huancayo.
- ✓ Estación Central Grau.
- ✓ Planta de Licuefacción Pampa Melchorita.
- ✓ Condominio Parque Huaylas.

Ventajas del Uso de Acero Dimensionado:

- ✓ Ahorro en el Costo de Instalación de Acero:
 - Se eliminan las mermas en obra, tanto por las operaciones de corte que se dejan de hacer en obra, como por el sobre-traslape de barras.
 - Se reduce el costo de la mano de obra, ya que el personal sólo se dedica a labores de instalación.
- ✓ Ventajas Operativas en la Obra:
 - Mejor aprovechamiento del personal, puesto que sólo debe dedicarse a la instalación y no al habilitado del acero.
 - Mayor orden y limpieza, se elimina el área para el habilitado de acero y permite planificar el uso del espacio disponible en la obra, mejorar la productividad y la velocidad de avance.
 - Mayor velocidad de instalación, ya que permite que las barras sean ubicadas fácil y rápidamente lo que hará más eficiente la labor de instalación, mejorando el rendimiento del personal que ya no tendrá que dedicar tiempo y trabajo a medir, contar y doblar barras, sino sólo a colocarlas.
- ✓ Ventajas Administrativas:
 - Mayor capacidad de control, ya que con la entrega del producto se adjunta una Lista de Empaque que permite conocer exactamente la cantidad de barras de acero que se utilizará en

- cada estructura de la obra, facilitando el control de inventarios y del consumo de acero.
- Entrega en el momento requerido y más cerca del punto de uso, según las posibilidades de la obra, evitándose manipuleos sin valor agregado.
- ✓ Asesoría Técnica (Despiece de Planos):
 - Asesoría en constructabilidad y en el proceso constructivo durante todo el desarrollo del proyecto.
 - Capacitación al personal para poder interpretar los Planos de Detalle, para poder almacenar correctamente el material y hacer una instalación rápida.

En conclusión, es la tercerización de la actividad de corte y doblado del acero de construcción, lo cual permite aumentar la productividad, reducir costos y tener un mejor control acerca de la cantidad de acero consumido.

3.4.3. Líneas de Producción en un Sistema a Base de Pre-armados

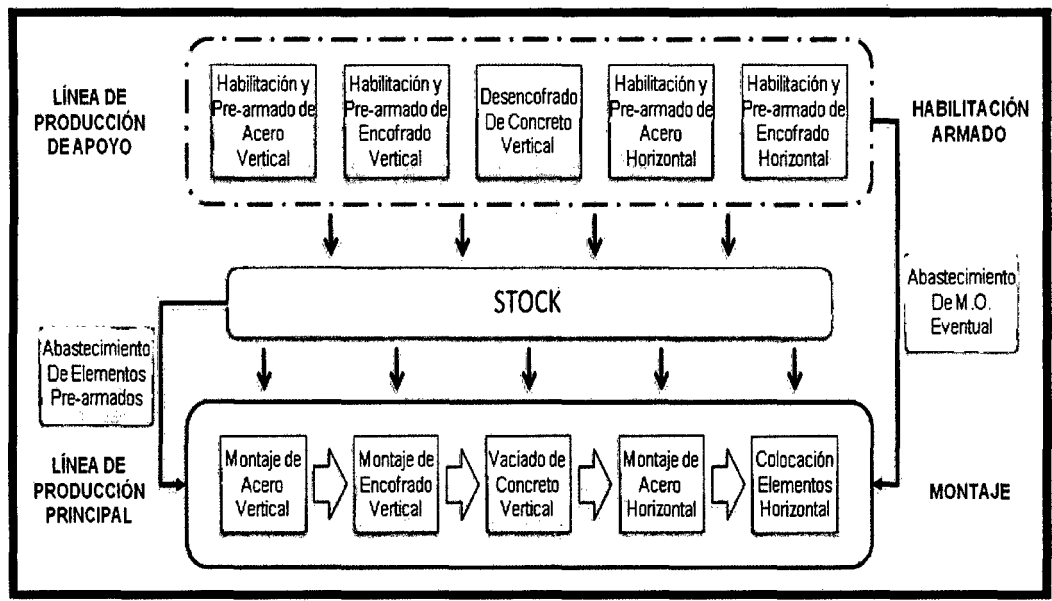
Se podría decir que la mayor exigencia de plazos favorece la aplicación de procesos constructivos que consideren la incorporación de pre-armados, debido a que se puede iniciar la habilitación y el pre-armado de las partes, generando un stock, ello permite que sólo quede pendiente su colocación, a diferencia de los procesos constructivos tradicionales que cuentan con la Línea de Producción Principal (LPP).

Sí se externalizan procesos, lo que se logra es reducir la variabilidad de la LPP, tal que las variaciones que se pudieran dar tengan un margen de error mayor, que no afecte la LPP, ya que al aplicar la externalización de procesos estamos generando una Línea de Producción de Apoyo o de Soporte, que se convertiría en Proveedora de la LPP, siendo más fácil controlar la variabilidad que se pueda presentar en ella, además que se puede trabajar en simultáneo ambas líneas de producción, *principal* y *proveedora*, sin la necesidad de tener que esperar para iniciar un proceso, que se termine el proceso anterior, a diferencia de los procesos constructivos tradicionales, que presentan una variabilidad inducida en

los procesos. Por ejemplo, el armado de la viga depende de que el encofrado se encuentre listo; si el encofrado se posterga, indirectamente se postergará el armado de la viga.

Cabe precisar que las *líneas de producción de apoyo* no solamente pueden ser proveedores de partes pre-armadas, también pueden proveer mano de obra eventualmente a la LPP.

Fig.3.19: Línea de Producción Principal y Línea de Producción de Apoyo



Línea de Producción Principal o Tren de Trabajo Principal

Es importante tomar en cuenta que el pre-armado no se puede aplicar a todas las partidas que intervienen en la etapa de estructuras. Por ello, la Línea de Producción Principal contempla:

- ✓ Actividades relacionadas con la colocación o montaje de partes pre-armadas.
- ✓ Actividades de las partidas donde *no* se puede aplicar pre-armado y por lo tanto sus actividades no pueden migrar a líneas de producción de apoyo.

Líneas de Producción de Apoyo

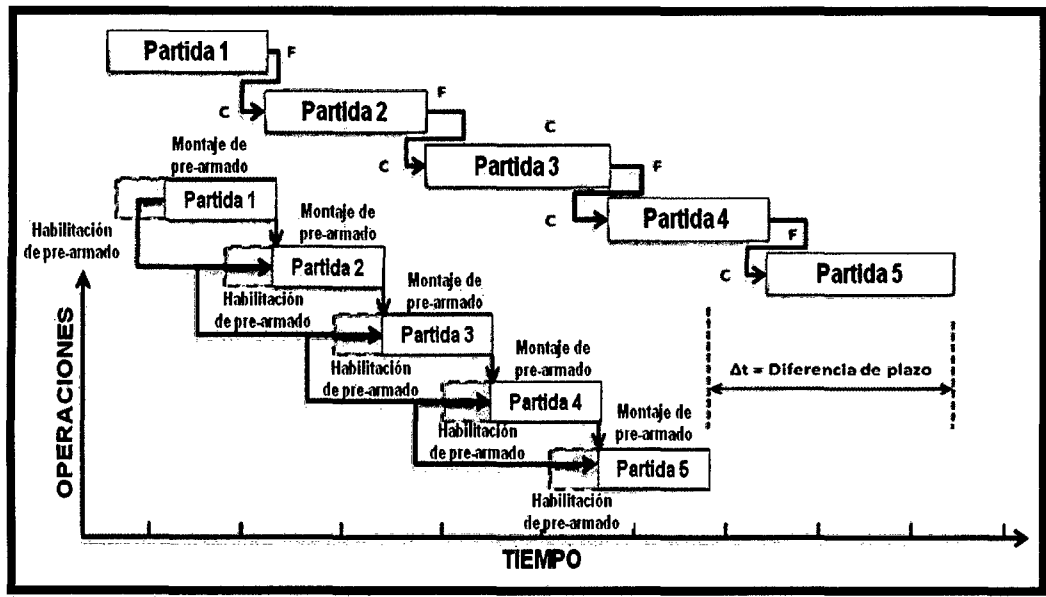
El objetivo de las *líneas de producción de apoyo* es dar soporte a la LPP, éstas se encargan de generar stock mínimo para garantizar el abastecimiento de partes, es decir son *proveedoras* y el producto que se desarrolla en esta línea de producción son partes pre-armadas, a ser instaladas, colocadas o montadas por la LPP, es decir se genera tiempo de inventario. Cuando las actividades de esta línea de producción se desarrollan en el interior de las obras, además de proveer de partes pre-armadas, pueden proveer de mano de obra en casos de emergencia o de necesidad eventual a la LPP.

Ambas *líneas de producción* trabajan en forma paralela, sin embargo la *línea de apoyo* que genera stock de partes pre-armadas debe de mantenerse adelantada para asegurar stock mínimo (tiempo de inventario) con la finalidad de asegurar el flujo de producción. Las *líneas de apoyo* pueden ayudar a controlar la variabilidad de la mano de obra o a neutralizar sus efectos en la LPP ya que como se mencionó anteriormente pueden proveer eventualmente de mano de obra a la LPP.

3.4.4. Tiempo y Plazo en un Sistema a Base de Pre-armados

Si asumimos el tiempo trabajado como consumo de mano de obra podríamos afirmar que en un sistema que hace uso de pre-armados, el tiempo trabajado es menor que en un sistema que no hace uso, en el peor de los casos se puede asumir que sea igual, aún así se consiguen ventajas en el plazo empleado para la ejecución como se puede observar en la figura 3.20.

Fig.3.20: Duración de las Operaciones entre Ambos Sistemas



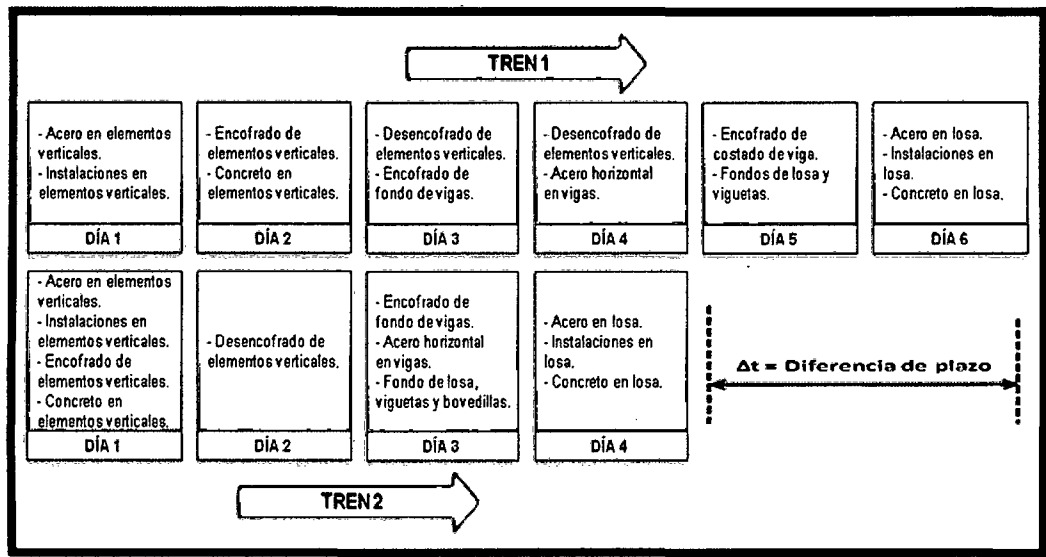
Tiempo

La cantidad de actividades no se incrementan, al migrar estas actividades hacia las *líneas de producción de apoyo*, la cantidad de actividades tiende a disminuir o transformar su forma de ejecución, por ello se afirma que el tiempo empleado para ejecutar los trabajos no será mayor que en los sistemas que no hacen uso de pre-armados. La nueva forma de ejecutar las tareas presenta mayor especialización de la mano de obra, como consecuencia de esta especialización se obtendrán mejoras en los índices de productividad y por lo tanto se empleará menos tiempo para la ejecución de los trabajos.

Plazo de Ejecución

Al emplear pre-armados el plazo total de ejecución se reduce como se observa en la figura 3.21, la dependencia o relación entre actividades tienden a establecerse en base al inicio y no al fin de las antecesoras, este tipo de dependencia genera que se ejecuten trabajos en forma simultánea y se anticipe el inicio de actividades generando que el plazo de ejecución sea menor sin necesidad de incrementar mayor cantidad de obreros.

Fig.3.21: Plazos de Ejecución entre Ambos Sistemas



3.4.5. Variabilidad de la Mano de Obra

Una forma de controlar de la variabilidad de la mano de obra es tomando en cuenta la condición de inicio de la actividad.

Inicio de Actividad Nueva – Fin de Actividad Antecedente

Cuando el inicio de una actividad está condicionado por el fin de la actividad antecedente se programa el control de variabilidad de la mano de obra implementando buffers de tiempos. Este tipo de condición se presenta entre actividades de la misma línea de producción.

Inicio de Actividad Nueva – Inicio Actividad Antecedente

Cuando el inicio de una actividad está condicionado por el inicio de la actividad antecedente, se programa el control de variabilidad de la mano de obra implementado buffers de producción (tiempo de inventario). Este tipo de condición se presenta entre de actividades de diferentes líneas de producción y la producción de ambas líneas se realiza en paralelo. Los procesos constructivos que hacen uso de pre-armados migran algunas actividades (y la variabilidad inherente a ellas) de la LPP a las líneas de producción de apoyo, las condiciones para el inicio de las actividades de la LPP, *Inicio actividad nueva – Fin actividad*

antecedentes disminuyen por lo tanto la programación con buffers de tiempo se reducen y el plazo final de ejecución se reduce.

Por proceso constructivo la mayoría de los controles de calidad se realizan en forma previa al montaje de las partes pre-armadas, en la línea de producción de apoyo, lo que asegurará mayor facilidad en el control de la calidad y menor riesgo de paralización o reparación por temas de calidad.

3.4.6. Diagrama de Flujo para el Sistema a Base de Pre-armados

Con frecuencia, el primer paso que da un equipo que está buscando maneras de mejorar un proceso es trazar un diagrama de flujo.

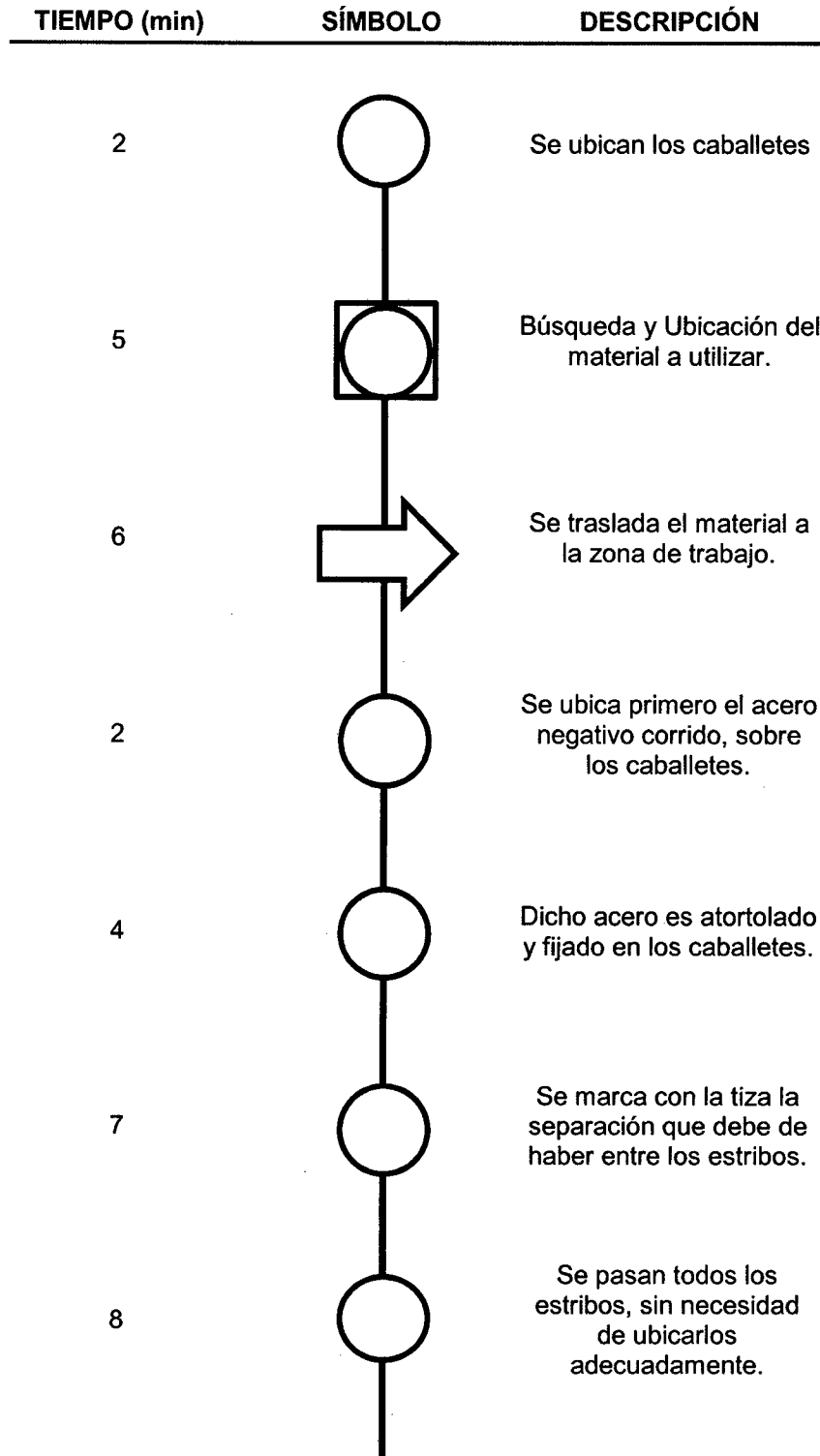
El diagrama de flujo consiste en un método extremadamente útil para delinear lo que está sucediendo. Una forma de empezar es determinando cómo es que debe de llevarse a cabo el proceso para que, a partir de esto, trazar en forma gráfica cómo es que está funcionando en realidad. Al proceder de esta manera, se puede descubrir de inmediato fallas tales como la redundancia, la ineficiencia o las malas interpretaciones.

Los diagramas de flujo utilizan un lenguaje especial, en el cual sus conectores lógicos se interrelacionan entre sí. En cierto modo, podemos decir que una forma o aplicación de un diagrama de flujo son: el Diagrama de Procesos para la elaboración de los elementos pre-armados y el Diagrama de Montaje para la colocación de los elementos pre-armados, centrándonos en las vigas pre-armadas, objeto del presente estudio.









A continuación se muestran los procedimientos tentativos para poder desarrollar la elaboración y colocación de vigas pre-armadas en cada proyecto bajo estudio.







Cabe mencionar que tanto la elaboración como el montaje de la viga pre-armada se realizaban en el mismo día.

Diagrama de Procesos: Pre-armado de Viga¹⁸



¹⁸ NAVARRO, Javier. "Mejora de la Productividad en Edificaciones Mediante la Externalización de Procesos: Pre-Armado de Vigas, Columnas y Placas". Tesis Profesional UNI-FIC. Perú, 2010.

TIEMPO (min)	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
4		Se ubican los estribos de emplantillado.
3		Los demás estribos son ubicados en el sitio pertinente.
14		Los estribos son atortolados al acero principal negativo.
3		Se instala el acero de refuerzo negativo.
7		Se atortolan los estribos contra el acero de refuerzo instalado.
1		Se coloca uno de los aceros longitudinales positivos.
6		Se atortolan los estribos a este fierro instalado.
1		El elemento es girado 180°.

TIEMPO (min)	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
1		Se termina de colocar el acero corrido positivo faltante.
6		Los estribos son atortolados a dicho fierro.
2		Se instala el acero de refuerzo positivo.
4		Los estribos son atortolados a dicho fierro.
2		Se colocan rigidizadores (fierros de seguridad, fierros de arriostre).
		Se almacena el elemento pre-armado.

RESUMEN:

Número de Operaciones	19
Número de Inspecciones	6
Número de Transportes	1
Número de Almacenamientos	1

Fig.3.22: Pre-armado de Vigas: Atortolamiento de Estribos
(Proyecto Universidad del Pacifico, GyM S.A.)

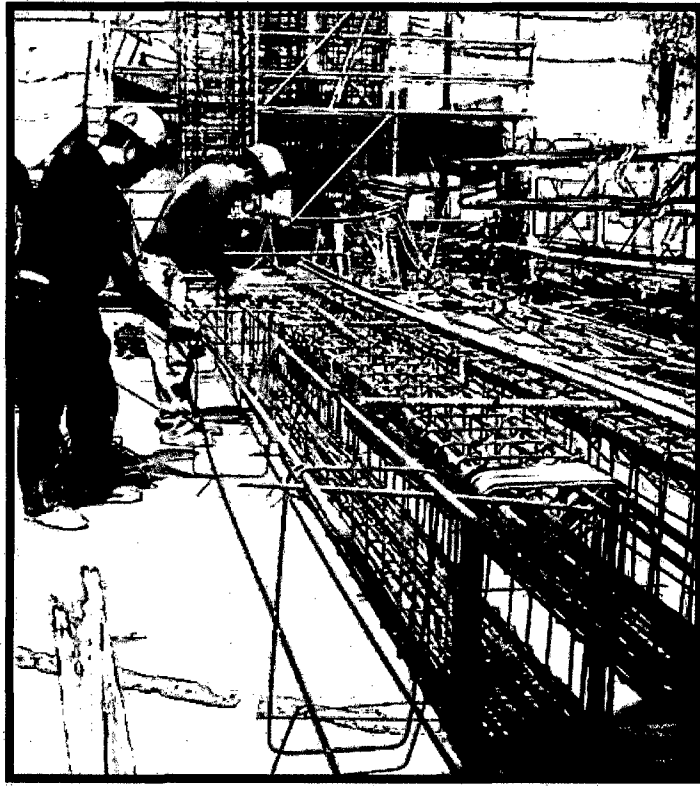


Fig.3.23: Almacenamiento de Elementos Pre-armados
(Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)

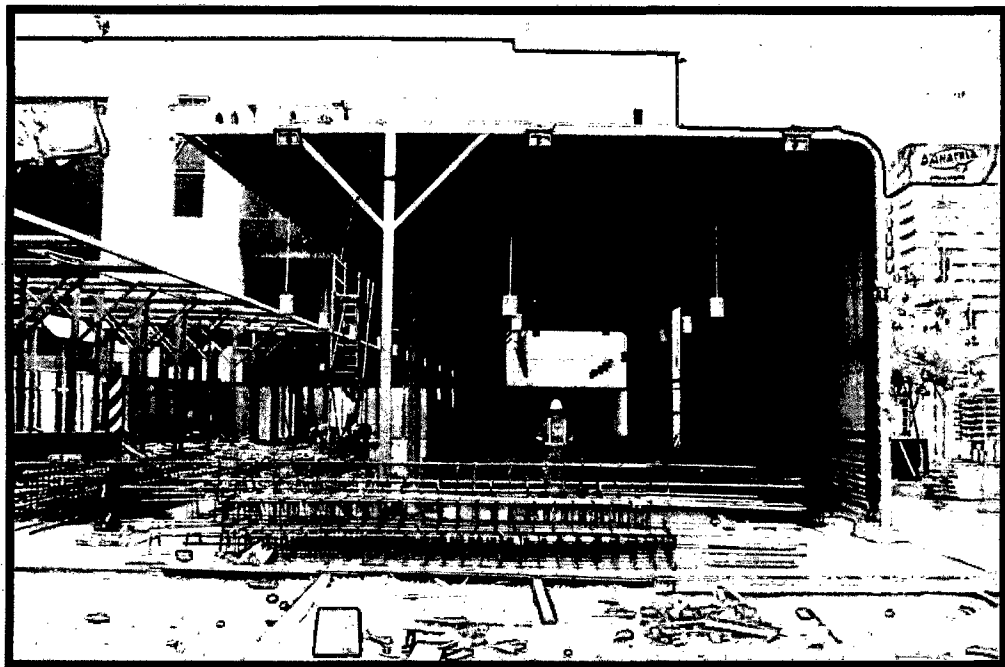

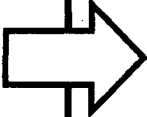





Diagrama de Procesos: Preparación del Izado para Vigas¹⁹

TIEMPO (min)	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
1		Se ubican los puntos de izaje.
1		La grúa es transportada a la zona de izaje.
3		Se estroba la viga.
1		Se engancha la viga a la grúa.
1		La viga es izada.

RESUMEN:

Número de Operaciones

3

Número de Inspecciones

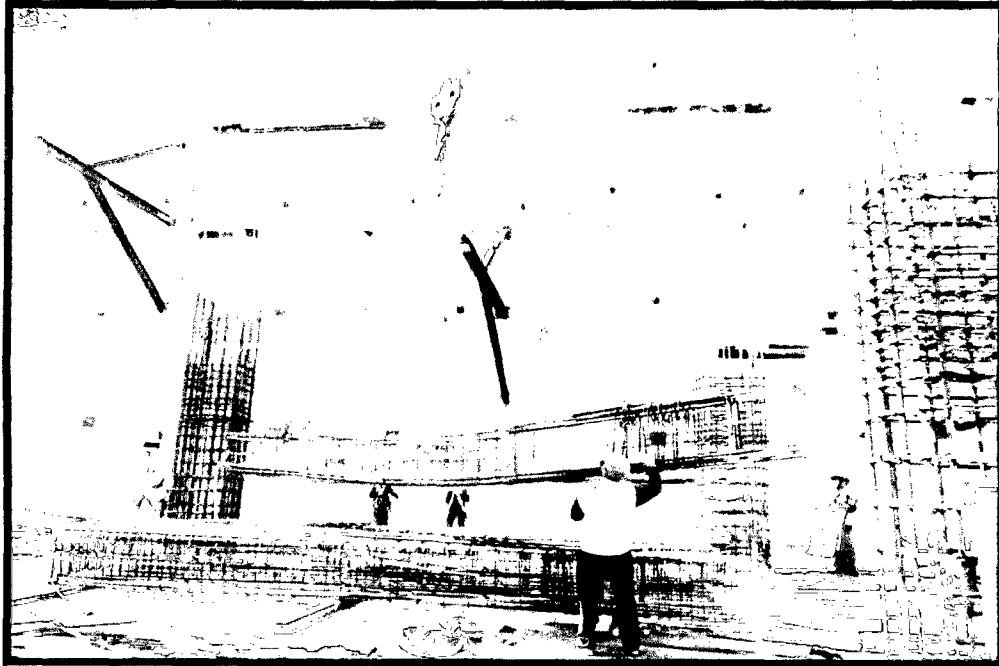
1

Número de Transportes

1

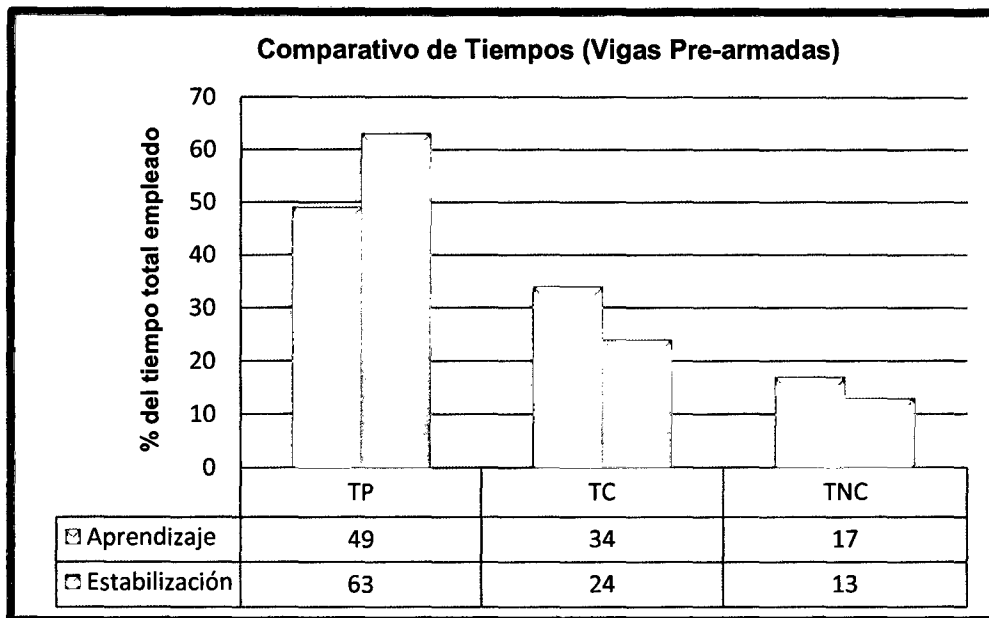
¹⁹Op. Cit.

**Fig.3.24: Izaje de la Viga Pre-armada
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



Luego, se realizó un estudio de tiempos para la actividad bajo análisis, obteniéndose los siguientes resultados:

**Fig.3.25: Cuadro Comparativo de Tiempos para el Pre-armado de Vigas
(Navarro, 2010)**

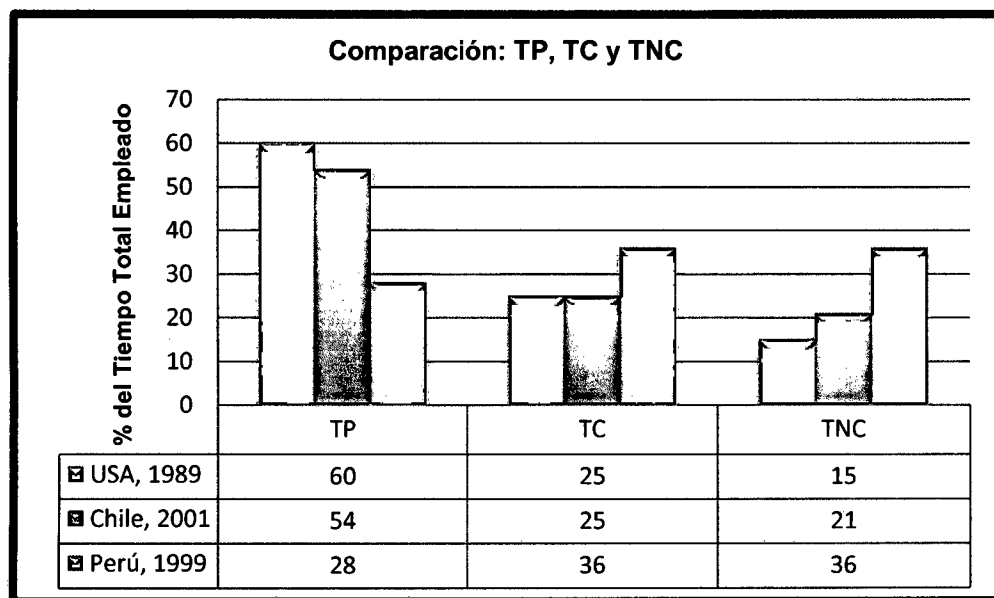


En este diagrama, se aprecia que la productividad obtenida varía de acuerdo a la curva de aprendizaje, así tenemos:

Etapa de Aprendizaje: A pesar de que el TP es mayor que el TC y que el TNC, éste no es el suficiente de acuerdo a los tiempos óptimos de estudios realizados en otros países. En éstos se menciona que el TP, TC y TNC óptimos son de 60%, 25% y 15% respectivamente²⁰, como se observa en la figura 3.26.

Etapa de Estabilización: Se aprecia que no sólo la productividad obtenida ha aumentado en comparación con la etapa de aprendizaje, sino que además se han obtenido valores cercanos a los óptimos sugeridos en los estudios realizados.

Fig.3.26: Cuadro Comparativo de la Ocupación del Tiempo



3.5. APLICACIÓN DEL MÉTODO DELPHI

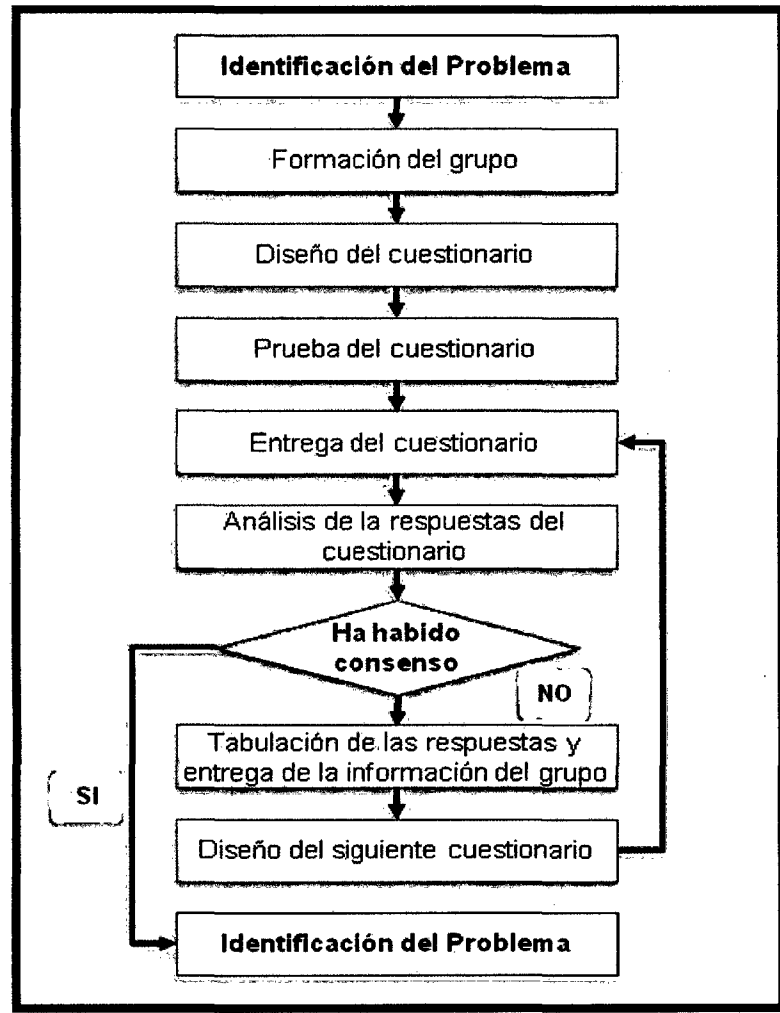
Se aplicó el método Delphi con el fin de identificar los procesos constructivos con mayor incidencia en nuestro sistema de mejora bajo estudio, elaboración y colocación de vigas pre-armadas. Tal como se definió anteriormente, en el *Capítulo II*, el método Delphi nos permite llegar a opiniones de consenso de un

²⁰S.A. "Productividad en la Industria de la Construcción Chilena". Revista BIT. Chile, 2001.

determinado grupo de personas, denominados expertos, sobre un asunto específico.

Se aplicó la metodología siguiendo el esquema del diagrama de flujo que se presenta a continuación:

Fig.3.27: Diagrama de Flujo de la Aplicación del Método Delphi



3.5.1. Identificación del Problema

Para la identificación del problema se ha definido como objetivo principal el identificar cuáles son los procesos constructivos con mayor problema o incidencias en nuestro sistema de mejora bajo estudio; por otro lado se identificarán cuáles son las principales características que se toman en

consideración para decidir la elección del sistema bajo estudio frente al sistema tradicional.

3.5.2. Formación del Grupo

Para formar el grupo de expertos se ha tratado de buscar a la mayor cantidad de profesionales que conozcan del tema y/o que estén involucrados directamente en alguno de los procesos del sistema de mejora bajo estudio, es decir, que se encuentren desarrollando o hayan desarrollado el pre-armado de elementos, tratando de formar un grupo lo más heterogéneo posible.

Para tal fin se encuestó a ingenieros residentes, jefes de producción y asistentes de producción, con el fin de preguntarles cuáles son los procesos constructivos con mayor incidencia en el sistema constructivo a base de pre-armados. Nuestro grupo de expertos se encontró conformado por personal perteneciente al grupo GyM, quienes desarrollaron sus labores en diversas obras del país.

Fig.3.28: Distribución del Grupo de Expertos por Categorías

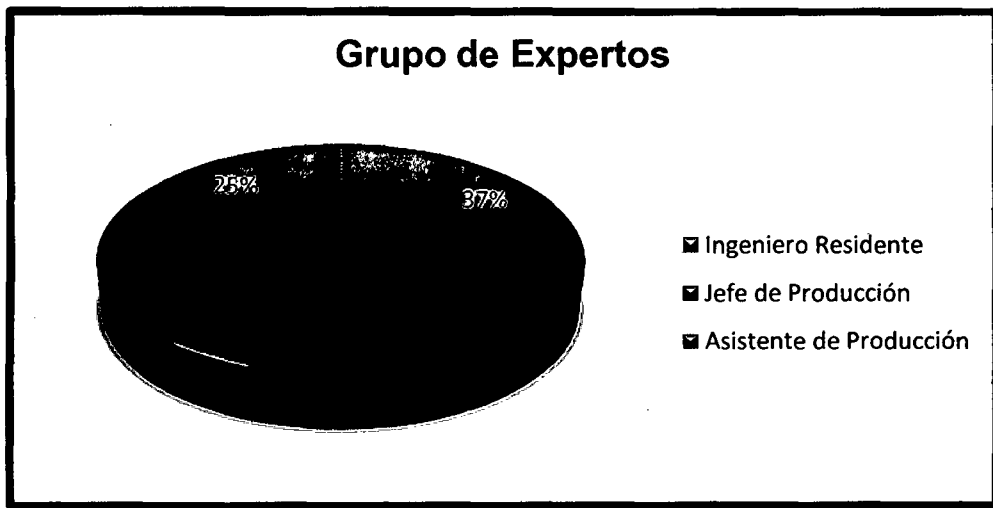


Tabla 3.6: Distribución de Expertos por Categorías

TIPO	CANTIDAD
Ingeniero Residente	3
Jefe de Producción	3
Asistente de Producción	2
TOTAL	8

3.5.3. Diseño del Cuestionario

Para el diseño del cuestionario se buscó la identificación de los principales procesos constructivos que intervienen en el sistema de mejora bajo estudio, para luego determinar cuáles tienen mayor incidencia, también se buscó conocer la disposición del grupo respecto al pre-armado de elementos y la intención de construcción que muestran hacia este sistema. Cada ítem fue estructurado con cinco alternativas de respuesta:

- (5) Muy Interesante
- (4) Interesante
- (3) Regular Interés
- (2) Poco Interesante
- (1) Nada Interesante

La unidad de análisis que responde a la escala marcará su grado de interés o rechazo hacia la proposición expresada en el ítem. La escala asignada fue de 5 puntos para el estado más favorable y de 1 punto para el estado más desfavorable. De forma similar se estructuró alternativas de respuesta en una escala del 1 al 5, donde 5 puntos es "Muy Incidente" y 1 punto es "Nada Incidente".

Fig.3.29: Formato de Escala Empleada N° 1
(Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig.3.30: Formatos de Escalas Empleadas N° 2
(Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"	
2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS	
3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente". ¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?	
	5 4 3 2 1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Traslape	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

3.5.4. Prueba del Cuestionario

Se consultó a los entrevistados sobre su experiencia en el empleo de elementos pre-armados, a fin de validar su conocimiento y obtener algunas características relevantes del sistema bajo estudio.

Inicialmente el cuestionario no quedó terminado en su totalidad, sino que a medida que se realizaban las entrevistas a los expertos, hubo que hacerle pequeñas modificaciones de manera de lograr que este cumpla con el objetivo principal de brindarnos la información necesaria y requerida.

3.5.5. Entrega del Cuestionario

Se entregaron los cuestionarios a los miembros del grupo vía on-line, para ello se hizo uso de la página web www.e-encuesta.com como herramienta de apoyo poder desarrollar la encuesta.

En el caso de no recibir las respuestas de alguno de los integrantes del grupo, se concertaba una reunión en su centro de labores y se realizaba el cuestionario en forma física mediante una entrevista.

Se entregaron los cuestionarios, conteniendo éstos tres importantes partes:

1. Descripción de Pre-armado de Elementos Estructurales.
2. Procesos Constructivos en Vigas Pre-armadas.
3. Intención de Construcción.

Los cuestionarios se desarrollaron on-line, usando como plataforma la página web www.e-encuesta.com, la cual brinda una versión básica gratuita con ciertas limitaciones de sus aplicaciones y herramientas, pero a pesar de ello es una interesante aplicación para elaborar, lanzar y recolectar datos de un cuestionario.

Fig.3.31: Primera Parte del Cuestionario
(Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)

GyM

ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Lo que nosotros buscamos es REDUCIR LA VARIABILIDAD de la Línea de Producción Principal (LPP), una manera de lograrlo es externalizando procesos mediante el Pre-armado de Elementos Estructurales.

Es en este contexto que se plantea la Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas como una Alternativa de Mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando así ayudar a reducir el tiempo de producción.

Responda las siguientes preguntas según su experiencia.

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del Pre-armado de Elementos le parecen atractivos?

- Simplicidad
- Facilidad de uso
- Innovación tecnológica – nuevo sistema de armado de elementos
- Eliminación de dependencia de cuadrillas
- Aumento de la producción
- Otro (por favor, especifique)

Respecto a la elaboración y colocación de vigas pre-armadas, se consultaron sobre 13 procesos constructivos presentes. La escala asignada fue de 5 puntos para el estado "Muy Incidente" y de 1 punto para el estado "Nada Incidente", según el formato que se describe a continuación:

**Fig.3.32: Segunda Parte del Cuestionario
(Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)**

GyM

**ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"**

2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS

3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente".
¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

	5	4	3	2	1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traslape	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Fig.3.33: Tercera Parte del Cuestionario
(Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales)**

GyM

ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

3. INTENCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

4. Partiendo de la premisa de que el empleo de Vigas Pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las Vigas Pre-armadas?

- Lo emplearía en todo tipo de construcciones.
- Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos.
- Puede que lo emplee en construcciones de gran altura.
- No creo que lo emplee si no me lo ordenan.
- No lo emplearía.
- Otro (por favor, especifique)

3.5.6. Análisis de las Respuestas del Cuestionario

A continuación se presentan las respuestas obtenidas del cuestionario. El cuestionario se desarrolló en 3 partes, así se presentan los resultados y diagramas para cada uno de ellos.

Primera Parte: Descripción de Pre-armado de Elementos Estructurales

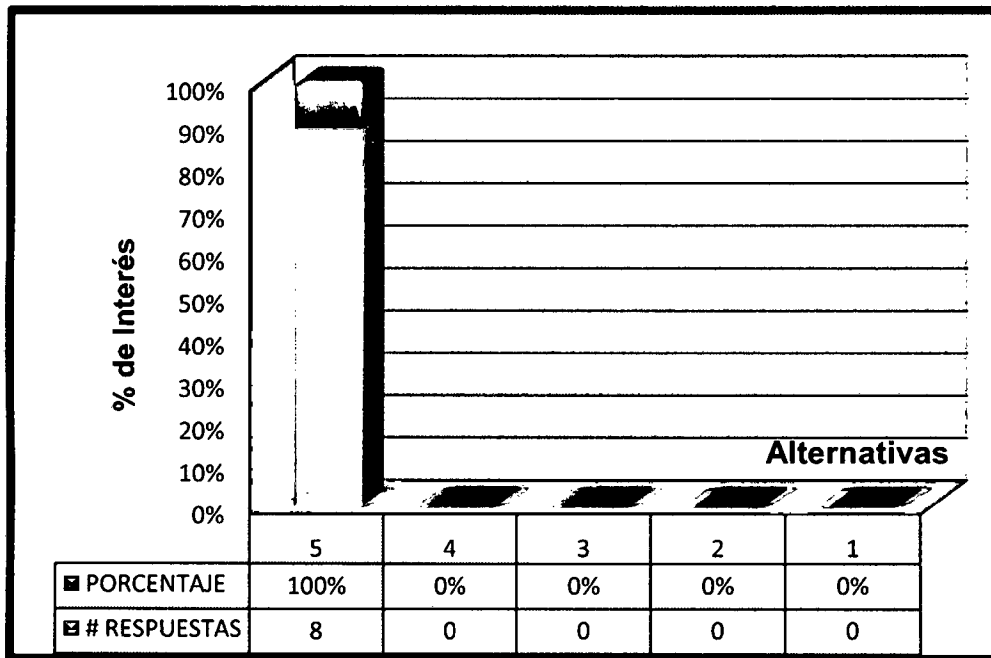
1. En una escala del 1 al 5, donde 5 es "muy interesante" y 1 es "nada interesante". ¿Cuán interesante es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?

Tabla 3.7: Distribución de Interés en Elementos Pre-armados

ALTERNATIVA	# RPTAS	%
5	8	100%
4	0	0%
3	0	0%
2	0	0%

1	0	0%
---	---	----

Fig.3.34: Distribución de Interés en Elementos Pre-armados



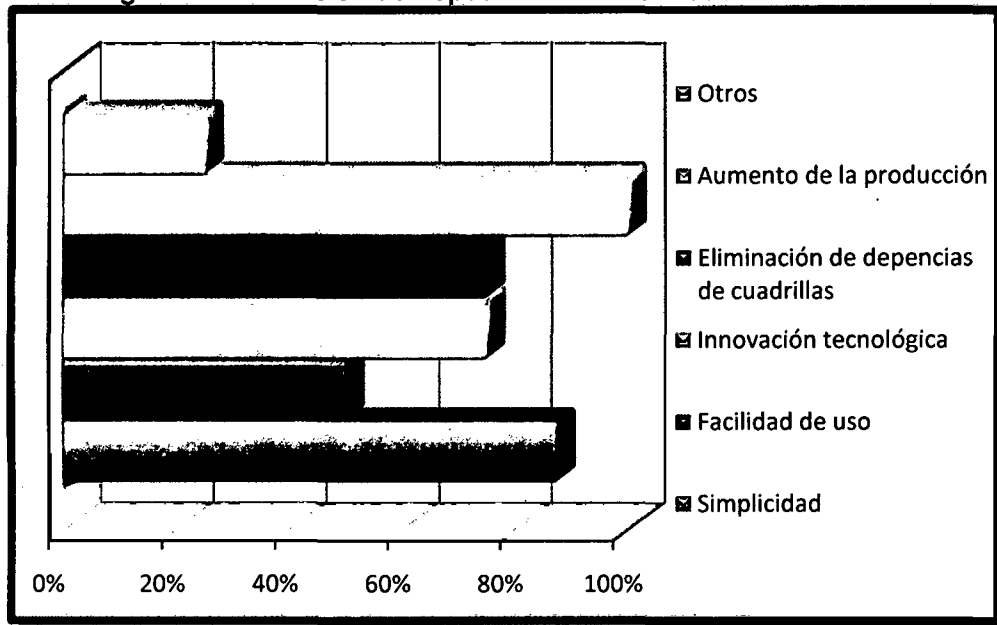
2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del pre-armado de elementos le parecen atractivos?

Tabla 3.8: Distribución de Aspectos del Pre-armado de Elementos

ALTERNATIVA	# RPTAS.	%
Simplicidad	7	88%
Facilidad de uso	4	50%
Innovación tecnológica - nuevo sistema de armado de elementos	6	75%
Eliminación de dependencias de cuadrillas	6	75%
Aumento de la producción	8	100%
Otros	2	25%

*Otros: "Rapidez" y "Menor desperdicio"

Fig.3.35: Distribución de Aspectos del Pre-armado de Elementos



Segunda Parte: Procesos Constructivos en Vigas Pre-armadas

3. En una escala del 1 al 5, donde 5 es "muy incidente" y 1 es "nada incidente", ¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

Tabla 3.9: Distribución de Incidencias de los Procesos en el Pre-armado de Vigas

ALTERNATIVA	VALOR	# RPTAS	PROMEDIO
Costo (lo medimos mediante tiempo y rendimiento)	5	1	3.50
	4	3	
	3	3	
	2	1	
	1	0	
Tiempo (lo medimos mediante plazos)	5	4	4.50
	4	4	
	3	0	
	2	0	
	1	0	
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	5	4	4.50
	4	4	
	3	0	

	2	0	
	1	0	
ALTERNATIVA	VALOR	# RPTAS	PROMEDIO
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	5	1	4.00
	4	6	
	3	1	
	2	0	
	1	0	
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	5	1	3.50
	4	3	
	3	3	
	2	1	
	1	0	
Habilitado de acero	5	2	3.50
	4	2	
	3	3	
	2	0	
	1	1	
Almacenamiento del material	5	1	3.50
	4	4	
	3	2	
	2	0	
	1	1	
Ubicación de caballetes	5	1	3.50
	4	3	
	3	3	
	2	1	
	1	0	
Armado de vigas	5	3	3.75
	4	2	
	3	2	
	2	0	
	1	1	
Dependencia de la grúa	5	7	4.88
	4	1	
	3	0	
	2	0	
	1	0	
Densidad en los nudos	5	3	4.00
	4	2	
	3	3	

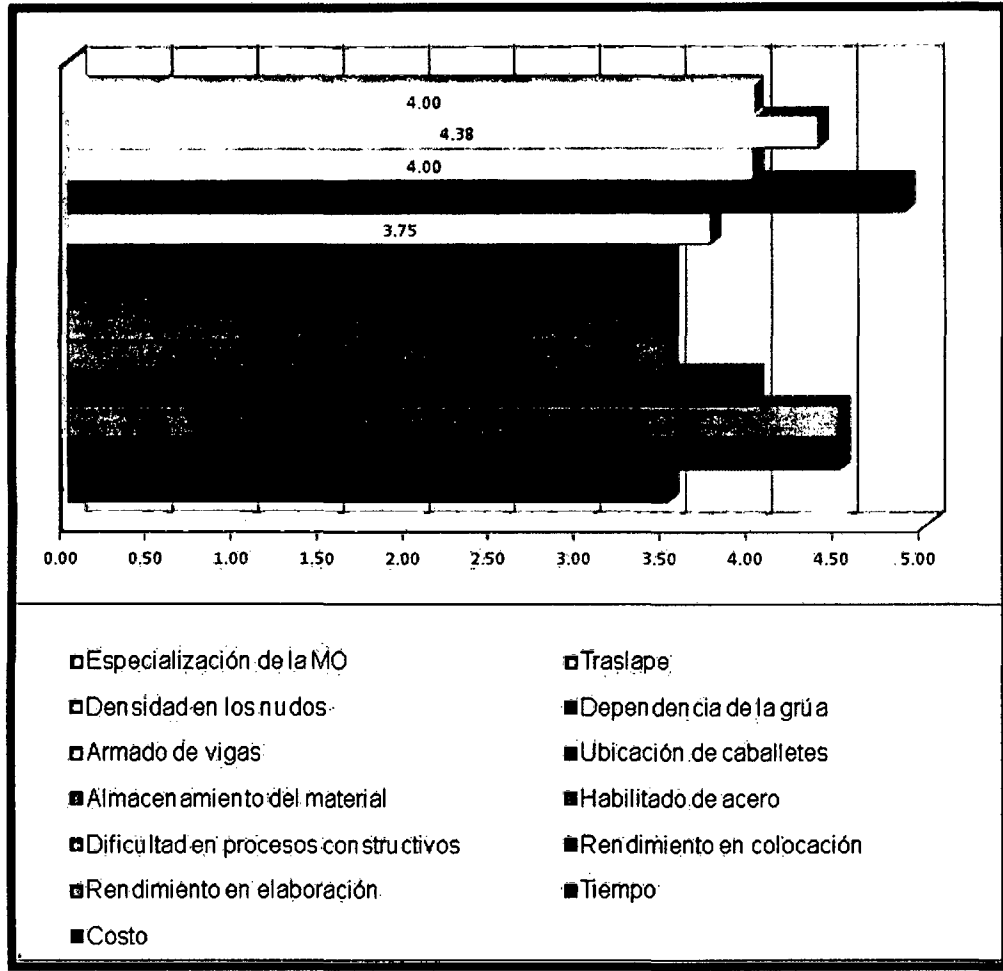
ALTERNATIVA	VALOR	# RPTAS	PROMEDIO
Traslape	5	4	4.38
	4	3	
	3	1	
	2	0	
	1	0	
Especialización de la MO	5	2	4.00
	4	4	
	3	2	
	2	0	
	1	0	

A continuación, a manera de resumen se presentan los valores promedio de incidencia de los procesos constructivos para la elaboración y colocación de vigas.

Tabla 3.10: Resumen de Incidencias de los Procesos en el Pre-armado de Vigas

ALTERNATIVA	PROMEDIO
Costo (lo medimos mediante tiempo y rendimiento)	3.50
Tiempo (lo medimos mediante plazos)	4.50
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	4.50
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	4.00
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	3.50
Habilitado de acero	3.50
Almacenamiento del material	3.50
Ubicación de caballetes	3.50
Armado de vigas	3.75
Dependencia de la grúa	4.88
Densidad en los nudos	4.00
Traslape	4.38
Especialización de la MO	4.00

Fig.3.36: Distribución de Incidencias de los Procesos en el Pre-armado de Vigas



Para continuar con la siguiente etapa del estudio, se eligieron los procesos constructivos que hayan obtenido un 80% o más de la escala asignada, donde 5 puntos representan al estado "Muy Incidente" y 1 punto representa al estado "Nada Incidente".

Es decir, se eligieron los procesos constructivos que obtuvieron un promedio igual o mayor a 4 de la escala asignada. Estos procesos nos servirán de variables para la aplicación del método TRIZ, tal como se verá en el siguiente capítulo.

Tabla 3.11: Variables para la Aplicación del Método TRIZ

ALTERNATIVA	PROMEDIO
Tiempo (lo medimos mediante plazos)	4.50
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	4.50
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	4.00
Dependencia de la grúa	4.88
Densidad en los nudos	4.00
Traslape	4.38
Especialización de la MO	4.00

Tercera Parte: Intención de Construcción

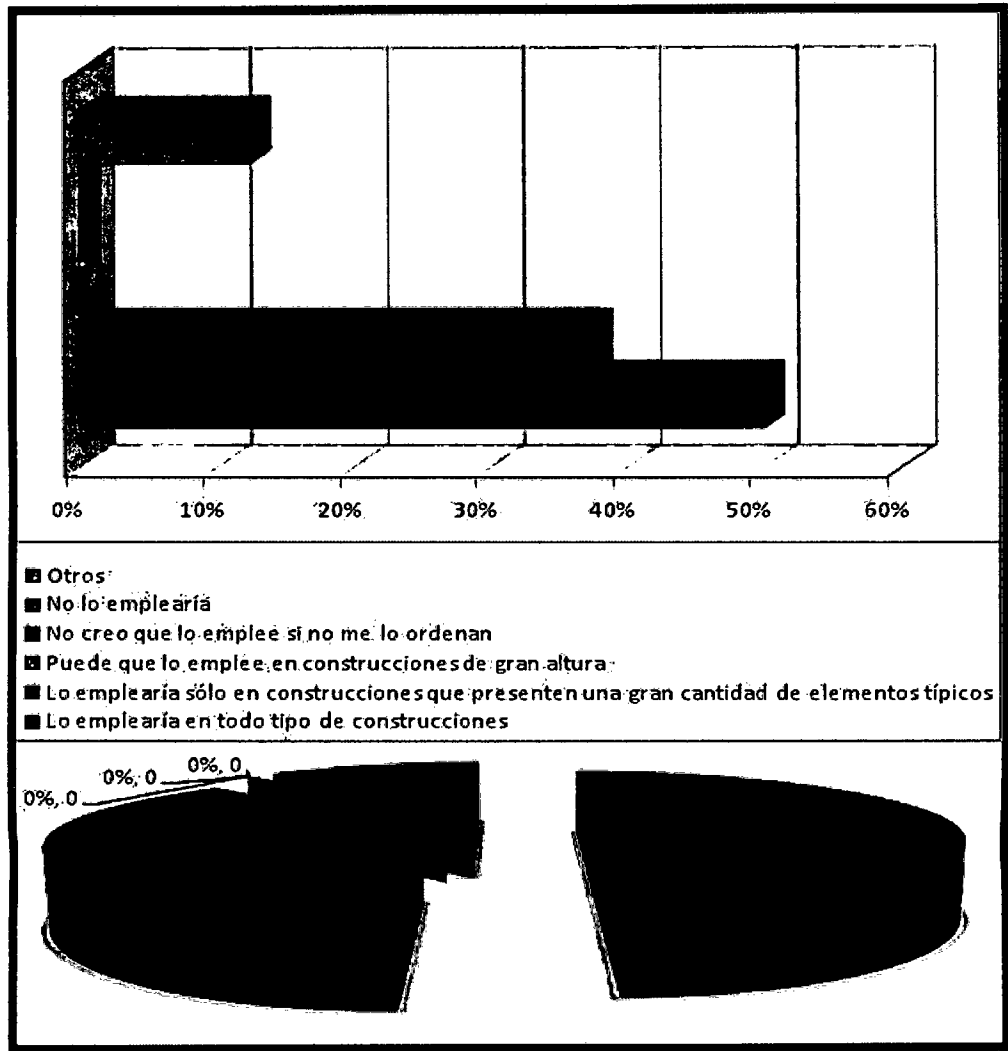
4. Partiendo de la premisa de que el empleo de vigas pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las vigas pre-armadas?

Tabla 3.12: Distribución de la Intención de Construcción

ALTERNATIVA	# RPTAS	%
Lo emplearía en todo tipo de construcciones	4	50%
Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos	3	38%
Puede que lo emplee en construcciones de gran altura	0	0%
No creo que lo emplee si no me lo ordenan	0	0%
No lo emplearía	0	0%
Otros	1	13%

*Otros: "Lo emplearía en construcciones donde las vigas son típicas y no existe mucha congestión en los nudos"

Fig.3.37: Distribución de Intención de Construcción



3.5.7. Recopilación de los Resultados en un Informe Final

Al elegir los procesos constructivos que obtuvieron un 80% o más de la escala asignada, no fue necesario volver a realizar una ronda más de preguntas.

Finalmente este nos mostró los siete principales procesos con mayor incidencia en el sistema bajo estudio, los que se detallan a continuación:

Tabla 3.13: Procesos con Mayor Incidencia en el Pre-armado de Vigas

Problemas específicos identificados con el método Delphi	
✓	Tiempo.
✓	Rendimiento.
✓	Armado de vigas.
✓	Dependencia de la grúa.
✓	Habilitado de acero.
✓	Densidad en los nudos.
✓	Traslape.
✓	Especialización de la MO.

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las propuestas de mejora, se van a presentar mediante el uso del método TRIZ (*Teoría de Solución de Problemas de Invenciones*) que nos va a proporcionar interesantes criterios para poder generar un incremento en la productividad de nuestro sistema de mejora.

Luego de haber realizado una recolección de datos y una identificación de los problemas encontrados en la *elaboración y colocación de vigas pre-armadas*, se toman estos problemas encontrados y se generalizan hacia la lista de problemas que la metodología TRIZ proporciona para poder utilizar el método y plantear soluciones para estos problemas encontrados en la realización de nuestro sistema de mejora. Los niveles de formulación de soluciones para los problemas encontrados serán de nivel 1 y nivel 2 según las características de los niveles que a continuación se detallan:

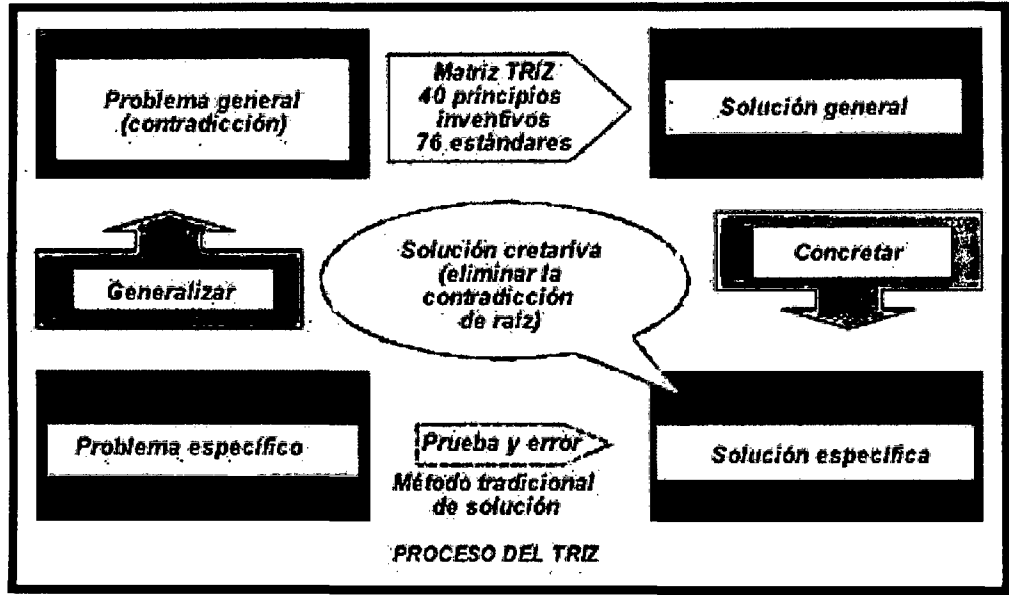
Tabla 4.1: Niveles de las Soluciones según la Metodología TRIZ

NIVEL	DESCRIPCIÓN	% APROXIMADO DE OCURENCIA
Cinco	Un raro descubrimiento científico o una invención pionera de un nuevo sistema.	1
Cuatro	Solución enfocada más en la ciencia que en la tecnología. Una nueva generación que usa un nuevo principio para efectuar las funciones primarias de un sistema.	4
Tres	Se resuelven contradicciones. Se trata de mejoras fundamentales de un sistema existente, por métodos conocidos fuera de la industria.	18
Dos	Mejoras menores de un sistema existente, usando métodos conocidos dentro de la industria.	45
Uno	No se necesita invención. Los problemas rutinarios de diseño son resueltos por métodos muy conocidos dentro de la especialidad.	32

Según la metodología TRIZ explicada en el *Capítulo II*, los problemas específicos encontrados en la elaboración y colocación de vigas pre-armadas se deben generalizar de acuerdo a los parámetros ingenieriles del método, para así poder hallar soluciones generales dentro de los principios inventivos proporcionados

por el propio método, luego de esto, se procede a hallar la solución específica para los problemas encontrados.

Fig. 4.1: Proceso del TRIZ



4.1. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA

El desarrollo del capítulo anterior ha posibilitado identificar los factores que podrían estar afectando positiva o negativamente la productividad en obra. Dentro de este grupo, se puede señalar que existen algunas de solución inmediata y otras que requieren de una evaluación más rigurosa para su implementación en obra.

En esta sección se desarrolla un recuento de los problemas encontrados luego de la observación de una jornada de trabajo y de la utilización de las herramientas del método Delphi.

Así, para la elaboración y colocación de vigas pre-armadas, se ha logrado identificar los siguientes problemas específicos:

Tabla 4.2: Problemas Específicos Identificados

Problemas específicos identificados con el método Delphi	
✓	Tiempo.
✓	Rendimiento.
✓	Armado de vigas.
✓	Dependencia de la grúa.
✓	Habilitado de acero.
✓	Densidad en los nudos.
✓	Traslape.
✓	Especialización de la MO.
Problemas específicos identificados en una jornada de trabajo	
✓	Conversar.
✓	Esperas de frente.
✓	Viajes.
✓	Distracciones.
✓	Descansos.

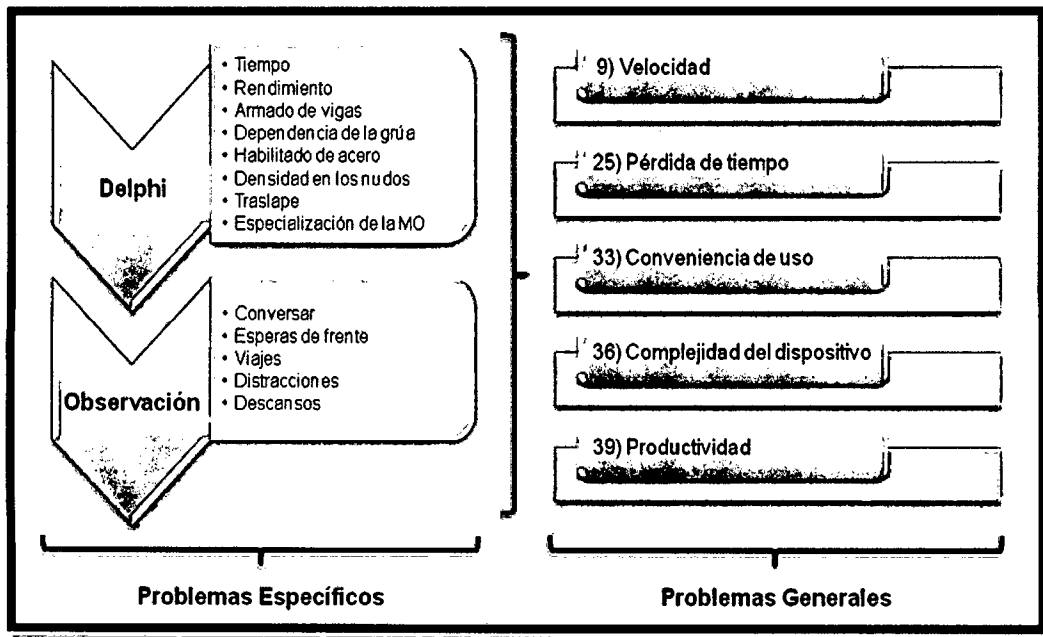
De los cuales, luego de generalizarlos por medio de la lista de los 39 *parámetros ingenieriles* proporcionada por el método TRIZ, descrito en el *Capítulo II*, se logra la identificación de los problemas generales, siendo estos problemas generales las oportunidades de mejora que se identifican en la elaboración y colocación de vigas pre-armadas.

Tabla 4.3: Problemas Generales

Problemas generales
9. Velocidad
25. Pérdida de tiempo
33. Conveniencia de uso
36. Complejidad del dispositivo
39. Productividad

A continuación se observa la identificación de los problemas generales a partir de la lista de los problemas específicos.

Fig. 4.2: Conversión de Problemas Específicos a Problemas Generales



4.2. EVALUACIÓN DE ACCIONES DE MEJORA

Al tratar de resolver los problemas generales, identificados en la sección anterior, se podrían generar contradicciones técnicas o físicas, es decir, la solución de un problema puede ocasionar que aparezca otro. Por ello se debe de buscar en la lista de los 39 parámetros ingenieriles que nos proporciona el método TRIZ, qué parámetros pueden empeorar al tratar de mejorar los parámetros que son los problemas generales.

Tabla 4.4: Características Ingenieriles Contradictorias

Parámetros que pueden ser mejorados		Parámetros que pueden empeorar	
9	Velocidad	23	Desperdicio de sustancia
		27	Confiabilidad
		29	Exactitud de la manufactura
		31	Daños como efectos laterales desarrollados por el objeto
25	Pérdida de tiempo	27	Confiabilidad
		29	Exactitud de la manufactura
33	Conveniencia de uso	26	Cantidad de sustancia
		31	Daños como efectos laterales desarrollados por el objeto
		35	Adaptabilidad
36	Complejidad del dispositivo	13	Estabilidad del objeto
		27	Confiabilidad
		35	Adaptabilidad
39	Productividad	27	Confiabilidad
		29	Exactitud de la manufactura
		31	Daños como efectos laterales desarrollados por el objeto

Los principios identificados en el método TRIZ también se convierten en una herramienta básica al ser expresada como una *matriz de conflictos*, relacionando los principios convertidos en parámetros, e identificados en pares que entran en contradicción.

La matriz se encuentra conformada por reglones y columnas empleando los parámetros. Cada celda representa un tipo particular de contradicción técnica, y contiene un grupo de números que corresponden a los principios inventivos que han sido exitosamente aplicados para resolver dicha contradicción.

El primer paso es emplear la matriz para analizar el problema e identificar sus componentes y sus respectivas funciones.

El siguiente paso es el análisis del problema, y de ahí a formular las contradicciones entre parámetros. Una contradicción ocurre si al mejorar una característica se deteriora otra, y viceversa. Así, si una actividad es esencial para garantizar la exactitud de la construcción, pero al mismo tiempo provocará la

demora de otras, tal conflicto puede ser formulado como una contradicción entre dos parámetros.

Fig. 4.3: Matriz de Contradicciones

		PARÁMETROS QUE PUEDEN EMPEORAR						
		13	23	26	27	29	31	35
PARÁMETROS INGENIERILES		Estabilidad del objeto	Desperdicio de sustancia	Cantidad de la sustancia	Confiabilidad	Exactitud de manufactura	Daños como efectos laterales desarrollados por el objeto	Adaptabilidad
	9	Velocidad	--		--			
25	Pérdida de tiempo	--	--	--			--	--
33	Conveniencia de uso	--	--		--	--		
36	Complejidad del dispositivo		--	--		--	--	
39	Productividad	--	--	--				--

4.3. PROPUESTA DE MEJORA

Luego de la consolidación de la investigación, se procedió a procesar los datos, evaluar y analizar cada parte de la información recogida sobre el sistema de producción de vigas pre-armadas, elaboración y colocación, se va a proceder en este ítem a presentar unas propuestas de mejora que darán algunos lineamientos para obtener un alza en la productividad y llevar a éste a la mejora continua en procesos repetitivos como lo plantea el concepto de *sistema ideal* presente en el método TRIZ, presentado en la investigación.

Así, de la matriz de contradicciones observamos que el problema genérico se describe como sigue: *para mejorar el tiempo perdido en el sistema, el proceso de manufactura llega a ser menos exacto*. Como conclusión, la resolución del problema puede ser calificada de *mejora de métodos tradicionales*.

Entonces, las soluciones requeridas para solucionar los problemas observados y también las contradicciones ingenieriles que ocurrirían en nuestro sistema de producción de vigas pre-armadas, se muestran a continuación:

Fig. 4.4: Matriz de Contradicciones: Parámetros Ingenieriles y Principios de Solución

		PARÁMETROS QUE PUEDEN EMPEORAR			
		23	27	29	31
PARÁMETROS INGENIERILES		Desperdicio de sustancia	Confiabilidad	Exactitud de la manufactura	Daños como efectos laterales desarrollados por el objeto
9	Velocidad		↓	↓	
25	Pérdida de tiempo	→	5, 15, 20	5, 6, 20, 28	
33	Conveniencia de uso		↓	↓	
36	Complejidad del dispositivo		↓	↓	↓
39	Productividad	→	5, 15, 20	5, 6, 20, 28	6, 20, 21
Principios de Resolución		5. Combinación 6. Universalidad 15. Dinamicidad		20. Continuidad de una Acción Útil 21. Pasar rápido 28. Reemplazo de un sistema mecánico	

Luego de encontrar las soluciones generales, se procede a llevar éstas a soluciones específicas para el sistema de elaboración y colocación de vigas pre-armadas, con los problemas detectados en el mismo.

Tabla 4.5: Conversión de Soluciones Generales a Soluciones Específicas

Principios de solución general y generación de soluciones			
Nº	Nombre	Descripción de la Solución General	Solución Específica
5	Combinación	Combinar en espacios homogéneos u objetos destinados para operaciones contiguas. Combinar en tiempos homogéneos o en operaciones contiguas.	Programar las tareas para que las cuadrillas puedan trabajar aproximadamente lo mismo día a día, teniendo en cuenta el volumen de trabajo que la jornada requiere (se podría programar la elaboración de elementos verticales y/o horizontales, o tareas afines tal que no se pierda la continuidad del trabajo día a día). Programar el avance en función del tiempo de las tareas y teniendo en cuenta el rendimiento, y así no se generen colas en el tren de actividades que se reproduzcan en esperas por falta de frente, por falta de materiales y/o por falta de equipo (la grúa torre define el ritmo del trabajo para nuestro sistema).

N°	Nombre	Descripción de la Solución General	Solución Específica
15	Dinamicidad	<p>Haga un objeto o su ambiente automáticamente ajustado para un desempeño óptimo en cada estadio de la operación.</p> <p>Divida un objeto en elementos cambiando la posición relativa uno de otro.</p> <p>Si un objeto es inamovible, hágalo movible o intercambiable.</p>	<p>Organización en Planta (Layout Planning): para la distribución en planta se debe tener en cuenta el flujo que realizan las cuadrillas, sin dejar de lado el rendimiento que éstas tienen y también el de los equipos, de tal modo que el tren de actividades se muestre continuo y no se generen colas que se reproducen en esperas por frente, por equipos y otras actividades que no contribuyen a la realización del sistema de producción.</p> <p>Efectuar una distribución eficiente de las instalaciones: bancos de materiales, zonas de carga y descarga de materiales, zonas de armado de elementos y de la ubicación de la grúa torre. Asegurar una adecuada accesibilidad, de tal manera que se faciliten las maniobras de trabajo.</p>
20	Continuidad de una acción útil	<p>Llevar una acción continuamente, sin pausas, para que todas las partes operen a total capacidad.</p> <p>Remueva tiempos muertos o intermedios.</p>	<p>Mejoramiento de la secuencia de ejecución de las tareas (reordenamiento).</p> <p>Programar de tal manera que no se generen paras en el trabajo por falta de frente, de materiales y/o equipos, y también supervisar para que no se generen paras por falta de control.</p> <p>Controlar y hacer que las cuadrillas trabajen a un rendimiento tal que el trabajo hecho en campo reproduzca en lo más que se pueda lo hecho en las programaciones y no se generen colas en el tren de actividades, haciendo que el término de una actividad sea justo en el tiempo estimado para que la otra actividad inicie y se genere un flujo continuo de actividades.</p>
21	Pasar rápido	<p>Efectuar operaciones dañinas o riesgosas a muy alta velocidad.</p>	<p>Lo más riesgoso es el traslado de elementos que realiza la grúa torre, ya que se genera una carga suspendida en el aire con un alto riesgo de caer sobre algún trabajador o sobre algún elemento y ocasionar un accidente.</p> <p>Se debe de realizar las maniobras de traslado sin interrupciones, evitando las interferencias entre grúas u otros elementos que generen una carga suspendida.</p>

Nº	Nombre	Descripción de la Solución General	Solución Específica
28	Reemplazo de un sistema mecánico	<p>Reemplace un sistema mecánico por otro sensorial (óptico, acústico u olfatorio).</p> <p>Use un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con el objeto.</p> <p>Reemplace campos: estacionarios por móviles, fijos por intercambiables, aleatorios por estructurados.</p> <p>Usar un campo en conjunto con partículas activadas (por ejemplo ferro-magnéticas).</p>	<p>Se puede reemplazar el sistema manual de habilitado de aceros en obra, por el sistema automatizado que ofrece Aceros Arequipa (acero dimensionado). Es una opción acertada, al ser la mano de obra una de las partidas con mayor variabilidad.</p> <p>Usos innovadores de la maquinaria de construcción: la grúa torre es un elemento crucial para el izado de los elementos pre-armados, es por ello que no podemos prescindir de ella (tiene mejores propiedades y características que otros tipos de maquinarias, tales como la maniobrabilidad y el espacio ocupado entre otros). Es necesario un análisis previo de la grúa torre, la cantidad de grúas torre a usar y todo lo concerniente a una planificación acorde con el tipo de proyecto a realizarse.</p>

Los siguientes conceptos son considerados para conseguir un mejor sistema de elaboración y colocación de vigas pre-armadas. Cabe mencionar que una opinión especializada puede conducir a propuestas de diseño detalladas.

- ✓ Uso innovador de materiales y sistemas de construcción: un sistema que incremente la automatización y genere la menor participación humana, al ser la mano de obra una de las partidas con mayor variabilidad. El uso de *acero dimensionado*, en este caso proporcionado por Aceros Arequipa, es una buena opción a implementar.
- ✓ Usos innovadores de la maquinaria de construcción: alternativa de uso de equipos en trabajos difíciles que faciliten las maniobras. Una grúa torre es un equipo de gran ayuda, no sólo en el traslado de materiales, sino en la colocación de los encofrados y de los elementos pre-armados.

Entre otros aspectos importantes que nos ayudarían a conseguir una mejor integración del conocimiento y experiencia constructiva en las operaciones de planificación, ingeniería y construcción podemos mencionar:

Organización en Planta (Layout Planning)

El ingeniero encargado de la distribución en planta debe tener en cuenta cuál es el flujo que realizan las cuadrillas y a partir de ahí hacer una distribución de éstos en campo, sin dejar de lado también, el rendimiento que tienen las cuadrillas y los equipos para realizar las tareas, con el fin de poder distribuir el campo en diferentes instantes de tiempo y diferentes escenarios de trabajo realizados en la planta, de tal modo que el tren de actividades se muestre continuo y no se generen colas que se reproducen en esperas por frente, por equipos y otras actividades que no contribuyen a la realización del sistema de producción.

Es importante resaltar que para una buena organización en planta, el encargado de la programación detallada, debe ajustar los rendimientos de las cuadrillas para que se ajuste lo más que se pueda a la realidad y la desviación de su programación con respecto a la realidad no sea tanta que afecte a la distribución de la planta, pues esta distribución es variable en el tiempo según la actividad que se tenga que ejecutar, queda claro que si la programación diaria no se ajusta a lo que las cuadrillas puedan realizar debido a sus características (rendimientos), la distribución en planta quedaría desestimada y se presentarían interrupciones en el flujo de las cuadrillas que generaran las esperas por frente o por falta de equipo.

En muchos casos, sí la programación no se cumple, no es adecuada o es irreal, se debe a la falta de experiencia de los encargados de Oficina Técnica (OT) y del Ingeniero de Producción. Por lo tanto, se debe capacitar mejor a estas personas.

Supervisión por parte del Capataz o Ingeniero

Es necesario que los encargados de la supervisión hagan su labor de supervisar el accionar de los trabajadores con eficiencia, ya que al no hacerlo, el personal resulta haciendo actividades ineficientes que no contribuyen a la producción de la elaboración y colocación de vigas pre-armadas, el personal al no estar debidamente controlados disminuyen su rendimiento, y, por ende, las programaciones hechas por los ingenieros encargados pierden validez junto con

la distribución en planta también hecha por ingenieros, esto trae como consecuencia que el tren de actividades genere colas que desencadena en una serie de actividades ineficientes.

Es por esto que la supervisión tiene que hacer el control de una manera eficiente, para controlar y hacer que las cuadrillas trabajen a un rendimiento tal que el trabajo hecho en campo reproduzca en lo más que se pueda lo hecho en las programaciones y no se generen colas en el tren de actividades, haciendo que el término de una actividad sea justo en el tiempo estimado para que la otra actividad inicie y se genere un flujo continuo de actividades.

Planificación en Obra

Se sugiere hacer una planificación de la obra a detalle, teniendo en cuenta las restricciones que se presentan de acuerdo a los rendimientos que las cuadrillas poseen y el volumen de trabajo que la jornada requiere, de tal modo que el personal se mantenga realizando actividades eficientes para la producción y no se genere tiempo muerto. Al hacer un programación diaria al detalle, se podrán establecer metas diarias y con el cumplimiento de éstas, se pondrán metas mayores logrando paulatinamente un mejoramiento continuo en los procesos al disminuir las actividades ineficientes.

Concentración en el Trabajo

Es necesario hacer un análisis del personal que se tiene en la obra para descubrir cuál es el desempeño de éstos a la hora de realizar las actividades que se tiene en la elaboración y colocación de vigas pre-armadas, observar si el personal está rindiendo como se estima y hacer una selección correcta del personal que se tiene en obra, eliminando así al personal que no muestre interés y presente poca concentración en el trabajo, logrando con esto, tener a disposición a la gente que permanezca concentrada en el trabajo y presente un desempeño aceptable en la realización de los trabajos.

Conocimiento Constructivo

El plan del proyecto debe contar con conocimiento y experiencia constructiva, es decir, en la etapa previa a la construcción. Algunos factores a tener en cuenta que pueden afectar el costo total de la obra son la disponibilidad de materiales y de la mano de obra, también el costo de la mano de obra y del transporte. Teniendo en cuenta estos factores, el equipo debe de:

- ✓ Establecer los objetivos del proyecto.
- ✓ Seleccionar los principales métodos de construcción.
- ✓ Uso de método y materiales más apropiados a las características de la obra.
- ✓ Realizar la distribución de la obra (Layout Planning) – ubicación de elementos, materiales, etc.
- ✓ Utilización de una planificación más detallada (LookAhead Planning).
- ✓ Asignar el recurso humano de manera efectiva, aprovechando la estandarización y repetición.
- ✓ Estimar rendimientos y número de trabajadores por cuadrilla.
- ✓ Estandarización de las operaciones de construcción.

Distribución Eficiente de las Instalaciones

Existe una fuerte relación entre eficiencia y adecuada distribución en obra, ya que de esta manera se facilitan las actividades de construcción, reduciendo así pérdidas de productividad y, finalmente, de costos. Algunas formas de conseguir este objetivo son:

- ✓ Proveer un espacio adecuado para el almacenamiento de materiales y para los talleres de trabajo.
- ✓ Facilitar el acceso de equipos, materiales y de los trabajadores.
- ✓ Utilizar las obras permanentes para usos temporales de construcción, para de esta manera evitar los gastos en instalaciones temporales.
- ✓ El almacén de obra debe de encontrarse cerca de la zona donde se ejecuta la obra.

Accesibilidad

Problemas de accesibilidad originarán grandes demoras, baja productividad y errores durante todo el trabajo. Algunas recomendaciones para asegurar una adecuada accesibilidad son:

- ✓ Se deben de ubicar los accesos tal que permiten recorrer distancias cortas de los trabajadores al sitio de trabajo.
- ✓ Las áreas de almacenamiento deben permitir una transferencia fácil de materiales y equipos a los lugares de trabajo.
- ✓ Se debe de coordinar el entre varias cuadrillas o subcontratistas en espacios reducidos.
- ✓ Se deben de tener en cuenta las restricciones de espacio que pueda presentar la obra; aún más si esta limita el tamaño e instalación de las maquinarias y equipos a instalar.

Innovaciones Constructivas

Un método innovador es aquel que no es considerado de práctica común, y que presenta una solución creativa ante las dificultades que se presentan al realizar el trabajo de manera convencional. Estas innovaciones pueden ser muy variadas, y normalmente son pequeños progresos que se van incorporando a las formas de trabajo ya existentes, por ejemplo:

- ✓ Mejoramiento de la secuencia de ejecución de tareas (reordenamiento).
- ✓ Uso innovador de materiales y sistemas de construcción.
- ✓ Usos innovadores de la maquinaria de construcción.
- ✓ Aplicación del pre-armado y la modulación.

4.3.1. Necesidad de un Planeamiento Enfocado en el Uso de Nuevas Tecnologías

La forma de trabajo convencional se encapsula en el desarrollo de las actividades mediante el trabajo de los obreros o denominados comúnmente *mano de obra*. Durante muchos años la forma de trabajo se restringió a la

asignación de la mano de obra a todas las formas de labores posibles, es así que gracias a los nuevos avances en la construcción se originan nuevas herramientas para el mejoramiento de los trabajos, con lo cual se tiene la posibilidad de dejar atrás la construcción cotidiana y dar paso a las nuevas tendencias.

Hoy en día la construcción se encuentra cada vez más en búsqueda de mejores índices de productividad y avanza a pasos agigantados en el logro de ella, puesto que cada día los constructores se desenvuelven con la aplicación de nuevas filosofías, de manera que conlleve al mejoramiento de la productividad de la obra en ejecución. Es así que surge la necesidad de echar mano de toda la tecnología actualmente disponible en los distintos mercados de cada respectivo país. Entre los recursos tecnológicos actualmente disponibles en nuestro medio para los proyectos de construcción tenemos el empleo de concreto premezclado, losas y viguetas prefabricadas, grúas-torre, encofrados metálicos, muros pantalla, aceros dimensionados, entre otros.

Por otra parte el origen de proyectos cada vez más complejos, con plazos de ejecución más cortos obliga al cambio de la forma de trabajo tradicional, buscando nuevas tecnologías que proporcionen una mayor productividad en los trabajos a desarrollarse. Una de estas nuevas tecnologías es el empleo de elementos pre-armados.

Fig. 4.5: Pre-armado de Elementos Estructurales (Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)



4.3.2. Oportunidades de Aplicación de Nuevos Sistemas en Edificaciones

Hoy en día se tiene acceso a nuevos sistemas de construcción, los cuales se aprenden gracias a los beneficios de la globalización, también es posible saber de ellos con los estudios de especialización que se realizan fuera de nuestro contexto nacional. De manera que se puede tomar nuevos conocimientos de otras realidades externas a la nuestra, convirtiéndose estas referencias de aplicación para nuestra realidad nacional, con la finalidad de mejorar cada vez más los ratios de productividad en proyectos de construcción nacionales.

Nuevo Perfil del Proyecto

La percepción de construir es diferente hoy en día y ha dado un giro de 180°, es decir, el perfil de un proyecto moderno es totalmente diferente. Un proyecto moderno tiene cada vez menos mano de obra no calificada, la que viene siendo reemplazada por el uso de elementos prefabricados y de equipos modernos. Los proyectos son cada vez más complejos en aspectos como: tamaño, formas, altura, profundidad, volados. Además actualmente los proyectos requieren de nuevos estándares como la *Certificación LEED*, más ingenieros con experiencia y mayor capacidad de proveedores.

Para contrarrestar la escasez de mano de obra calificada resulta necesario echar mano de las innovaciones tecnológicas, de manera que se pueda solucionar la falta de mano de obra, a continuación se proponen una serie de soluciones:

- ✓ Invertir más tiempo en la etapa de planeamiento aumentando la cantidad de ingenieros en esta tarea durante el inicio de obra.
- ✓ Trabajar la ingeniería desde la etapa de diseño para disminuir la dificultad de los trabajos.
- ✓ Trabajar más en los Layouts²¹, de ser posible por etapas con simulaciones en 4D y en vistas 3D.

²¹ Término usado que hace referencia a la planificación y distribución en campo de recurso humano, maquinarias, actividades, entre otros.

- ✓ Al ser la mano de obra una de las partidas con mayor variabilidad, esta debe ser reducida a la mínima expresión.
- ✓ Orientarse al uso de equipos multifuncionales, tales como las grúas torre, que reemplacen el trabajo contributivo de la mano de obra.
- ✓ Uso de equipos que nos permitan acceder a nuevos sistemas constructivos que disminuyan la mano de obra.
- ✓ Reducir las dependencias entre actividades haciendo que cada una se base en montajes o maniobras sencillas, pasando la complejidad a los talleres de pre-armado.
- ✓ Uso masivo de elementos prefabricados y pre-armados.
- ✓ Utilizar herramientas que nos permitan conocer y definir el proyecto de forma temprana para facilitar la prefabricación.
- ✓ Formar un grupo de proveedores a nuestro ritmo.
- ✓ Formar ingenieros especializados en las alternativas antes descritas.
- ✓ Formar capataces orientados a los nuevos métodos.
- ✓ Formar mayor cantidad de operadores, ya que los equipos sin ellos no son nada.
- ✓ Se debe buscar alianzas estratégicas con proveedores de sistemas claves para esta forma de construir.

Tecnologías de Información BIM²² para Producción

La gran ventaja que posee las tecnologías de información BIM es la elaboración de layouts integrados entre cada uno de sus elementos, que permitan realizar cambios en tiempo real.

Otra de las grandes ventajas que posee esta tecnología de información para la producción en obra, es la simulación de actividades a realizarse posteriormente; es decir ofrece la posibilidad de complementar al layout de obra una simulación de alguna actividad de suma importancia que merece ser revisada por todas las partes implicadas en ella (contrata, supervisión, sub-contrata, proyectista); aplicando justamente la filosofía BIM.

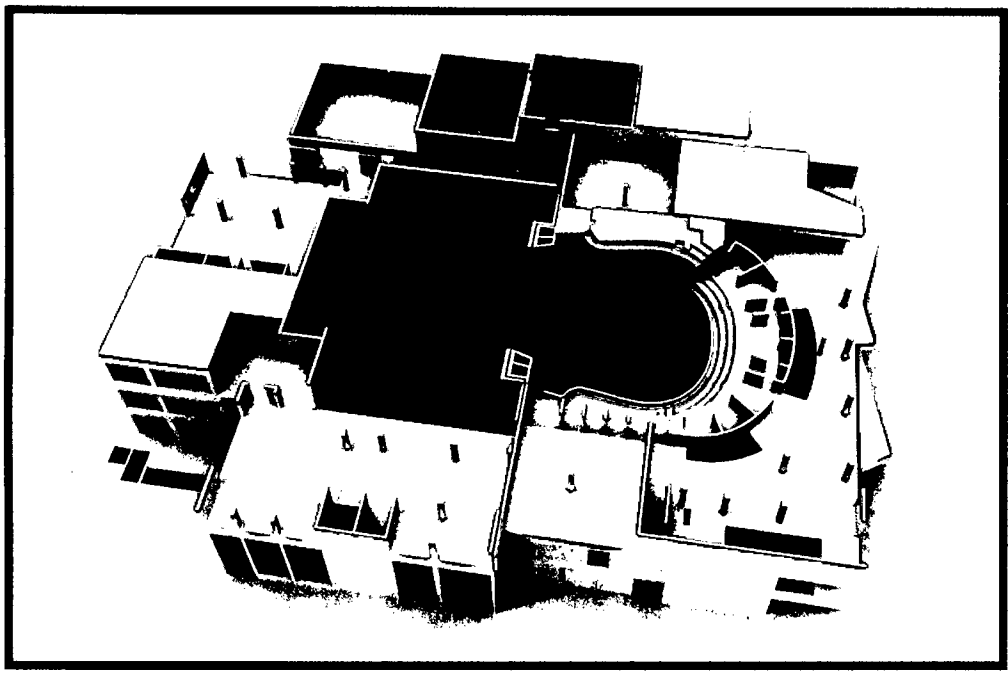
²² Building Information Modeling (BIM), filosofía basada en la integración de todos los involucrados sin excepción en un proyecto.

Uso de Herramientas BIM en la Planificación

Uno de los principales intereses de los equipos de producción es el de simular situaciones posteriores previstas en la planificación, debido a esto se usan las tecnologías de información BIM (Autodesk Revit MEP 2011), al mencionar *situaciones posteriores* se hace referencia a problemas, interferencias, incompatibilidades o contratiempos que podrían presentarse durante la realización de las actividades en la vida real, situaciones que se pueden prever con mucho tiempo de anticipación, siendo este hecho precisamente el punto fuerte de trabajar con una tecnología de información BIM, puesto que facilita las detecciones de las situaciones mencionadas, las cuales no serían fáciles de prever sin el empleo de este tipo de tecnología de información.

Asimismo esta tecnología de información sirve para la elaboración de Layouts, con presentaciones en 3D y simulaciones en 4D.

**Fig. 4.6: Perspectiva del Gran Teatro Nacional en 3D
(Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)**



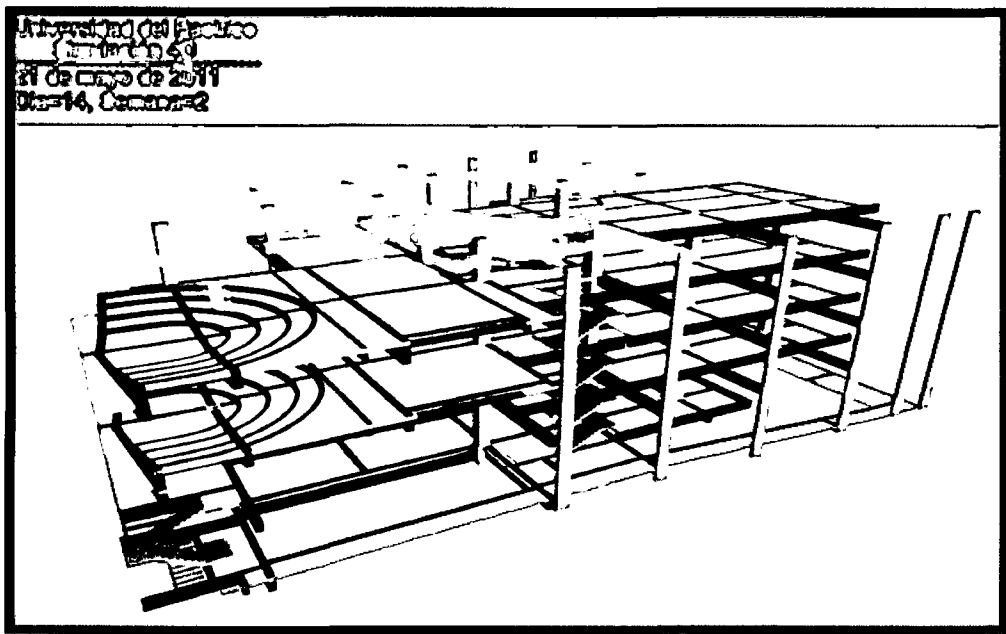
Se entiende por *Layout* como una herramienta de planificación, es decir el layout mostrará el plan que se tiene para una determinada actividad y el cual se deberá seguir, para que con ayuda de esta se pueda desarrollar los trabajos

eficazmente en campo. El layout es elaborado con la finalidad de plasmar el plan desarrollado en un documento que permita su entendimiento. Es muy importante contar con este recurso, antes de llevar a cabo los trabajos en campo, por esta razón resulta necesaria la creación de un layout para cada actividad.

Asimismo, queda sobreentendido que los layouts para cada una de las actividades deberán encontrarse totalmente elaborados y comprendidos, por todas las partes que participen, es decir el constructor, la subcontrata, el cliente y demás participantes (forma de trabajo BIM).

- ✓ *Layout para los trabajos constructivos, se puede realizar una simulación BIM en 4D del proceso constructivo del proyecto, la cual mostraría el avance programado de cada uno de los trabajos constructivos.*

**Fig. 4.7: Simulación BIM – 4D del Proceso Constructivo
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



- ✓ *Layout para los trabajos provisionales, se puede realizar una simulación BIM del trabajo provisional de traslado y colocación de maquinarias, materiales, contenedores y otros elementos más, los cuales se caracterizan por aportar provisiones para que se lleven a cabo los procesos constructivos.*

- ✓ *Layout para el montaje y desmontaje*, se puede realizar una simulación BIM del planeamiento realizado acerca de procedimientos de montaje y desmontaje de algunos equipos.
- ✓ *Layout para la seguridad*, se puede realizar una simulación BIM de recorridos virtuales, de manera que se puedan ubicar todos los posibles peligros tanto para la etapa de construcción como para la etapa de funcionamiento.

**Fig. 4.8: Simulación BIM del Recorrido Virtual
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



4.3.3. Alternativa de Uso de Equipos en Trabajos Difíciles

El término *trabajos difíciles* hace referencia a labores que requieren gran esfuerzo, de manera que de acuerdo al panorama cotidiano, dichos trabajos se encuentran llevados a cabo por personal. Aún se sigue creyendo que la asignación de estos trabajos a los obreros es el camino más económico, de manera que no se evalúan posibilidades de uso de equipos para el desarrollo de estos trabajos.

Existen varios motivos de gran importancia para el uso de equipos en la realización de trabajos difíciles. Entre estos motivos de importancia tenemos al de seguridad, el de costo y el de la disminución de plazos.

Uno de los motivos principales que se observa es el problema que se tiene en la seguridad, puesto que los obreros corren el riesgo de sufrir algún accidente, pudiendo incluso producirse un accidente fatal. Con el empleo de equipos para estos trabajos difíciles se disminuye drásticamente el riesgo de ocurrencia de accidentes. En la tabla 4.6 se observa la cantidad de trabajadores que se encuentran en innegable riesgo de sufrir un accidente, debido a que se encuentran debajo de un equipo tipo grúa torre; tanto para un uso estándar (sin sistemas de pre-armados) como para un uso de las grúas torre con nuevos sistemas (con sistemas de pre-armados); de donde se puede apreciar que al usar nuevos sistemas se disminuye en un 35% la cantidad de personas desarrollando actividades debajo de una grúa torre; tendencia que podría ser mejorada con una adecuada planificación de movimientos y de esta manera evitar el riesgo de que se produzca un accidente.

Tabla 4.6: Número de Obreros Debajo de una Grúa Torre de acuerdo al Tipo de Uso (GyM S.A.)

Sistema Empleado	Número de Trabajadores debajo de una Grúa Torre
Uso Estándar	80 – 100
Usando Nuevos Sistemas	50 – 80
% de Diferencia	35%

Uno de los motivos más trascendentales para el reemplazo de dicho personal obrero es el costo similar que resulta el empleo de equipos en lugar de trabajadores. En la tabla 4.7 se puede observar la equivalencia que existe entre el costo del empleo de equipos y el número de trabajadores.

Tabla 4.7: Costos de Equipos y Equivalencias con el Número de Trabajadores (GyM S.A.)

	Costo Mes Aproximado \$	Equivalente en trabajadores
Grúa Torre Estándar	12,000	12
Grúa Móvil de 20 Toneladas	13,000	13
Telehandler	7,000	7
Faja Transportadora	6,000	6

En la tabla 4.8 se puede ver otro de los motivos más importantes para el uso de equipos, se trata de la disminución del plazo estándar sin uso de equipos comparado con el plazo logrado con el nuevo sistema planteado, para la construcción de la estructura de dos proyectos distintos, pero de las mismas características, pues ambos son proyectos de edificación.

Tabla 4.8: Comparación del Plazo entre el Sistema Estándar con el Sistema Planteado (GyM S.A.)

Sistema Empleado	Torre Abaco (1400 m ² , 5 sótanos)	USIL (1800 m ² , 4 sótanos)
Sistema Estándar	4 meses	4 meses
Nuevo Sistema Planteado	2.5 meses	2.5 meses
% de diferencia	38%	38%

Mediante el uso de equipos encontramos una buena lista de ventajas, las cuales van desde lo productivo hasta lo económico.

En lo productivo con los equipos casi no existen los tiempos no contributivos (TNC) o llamados también *tiempos muertos*, a diferencia de la mano de obra que lógicamente posee necesidades fisiológicas las cuales son imposibles evitar.

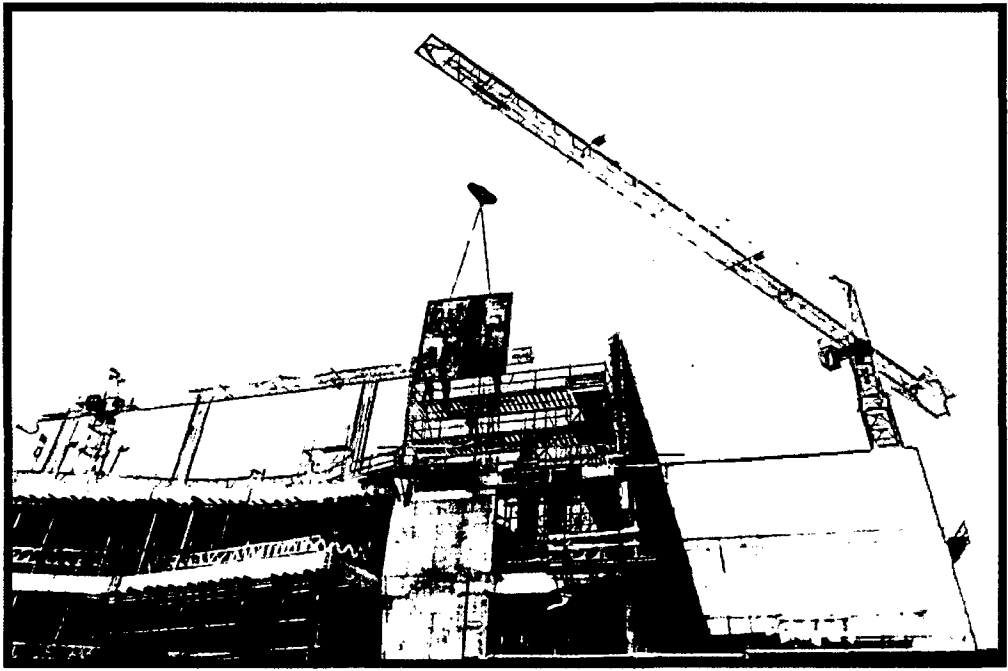
Como se mencionó anteriormente, se podría disminuir el riesgo de accidentes. A diferencia del recurso humano, las maquinarias continúan con el mismo ritmo, solamente se requiere un cierto periodo de mantenimiento.

4.3.4. Grúas Torre

En los proyectos de construcción, dentro del cual se tiene el campo de las edificaciones, las grúas torre constituyen un medio vital, alrededor de las cuales giran gran parte de los proyectos. Definen el ritmo de trabajo y son los medios más universales empleados para el manejo de cargas y materiales, dejándolos con precisión en el lugar requerido.

La grúa torre puede elevar concreto mediante los baldes de acero hasta 1m^3 por viaje, el uso de la grúa torre incrementa la productividad en el vaciado de concreto. También facilita el traslado del material necesario para el armado del encofrado, comúnmente estos elementos pesados son trasladados por trabajadores un elemento por viaje, estos tiempos y mano de obra son minimizados por el uso de la grúa torre a un solo movimiento. En los sistemas de construcción se necesitan andamios que cada momento son trasladados, estos equipos pueden ser movilizados sin la necesidad de desarmarlos mediante la capacidad de elevación de la grúa torre.

**Fig. 4.9: Traslado de Encofrados con Grúas Torre
(Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)**



Las grúas torre son equipos que cada vez más se viene empleando en los proyectos de construcción de todo el país, además son equipos muy empleados para realizar todo tipo de trabajos con cargas, agilizando el transporte de materiales; como contraparte de los traslados habituales. En sus primeros usos sólo se le asignaba el traslado de materiales, reemplazando la mano de obra, sin embargo el cambio de sistemas involucra a la grúa torre como parte esencial de la dinámica de la obra.

Disponibilidad de Grúas Torre

Nuestro mercado nacional de la construcción se ha ido convirtiendo en un accesible escenario de inversiones económicas en el ámbito de la construcción, de manera que la disponibilidad de muchos equipos ha ido en aumento conforme pasan los años. Cada año se cuenta con una mayor cantidad de grúas torre, provenientes de otros países, siendo un factor importante para este hecho la vida útil de 30 a 40 años con la que cuentan estos equipos.

Tabla 4.9: Estadísticas del Número de Grúas Torre (GyM S.A.)

Número de Grúas Torre			
España	25,000		
Chile	900		
Perú	140	2008	62
		2009	83
		2010	118
		2011	140
		Año	Nº Grúas

Elección de los tipos de Grúas Torre

La elección del tipo de grúas torre a usarse en los proyectos depende en gran medida del layout de los trabajos que se pretendan realizar.

Otro factor importante suele ser el reducido espacio con el que se cuenta para la ubicación, es decir las posibilidades de ubicar a las grúas torre resultan siendo pocas.

En el Proyecto Universidad del Pacífico se seleccionaron las grúas torre MC 115 y MC 85. La grúa torre MC 115 fue montada con un sistema de empotramiento en su base, principalmente por el reducido espacio que existía en el lugar predestinado para su montaje, tal como se observa en la figura 4.10. De otro lado la grúa torre MC 85 fue montada con un sistema de apoyo en su base, formado por contrapesos dispuestos alrededor de la grúa, mediante las cuales se mantenía la estabilidad de la grúa torre, como se observa en la figura 4.11.

Fig. 4.10: Esquema de las Características de la Grúa Torre MC 115 (POTAIN, 2004)

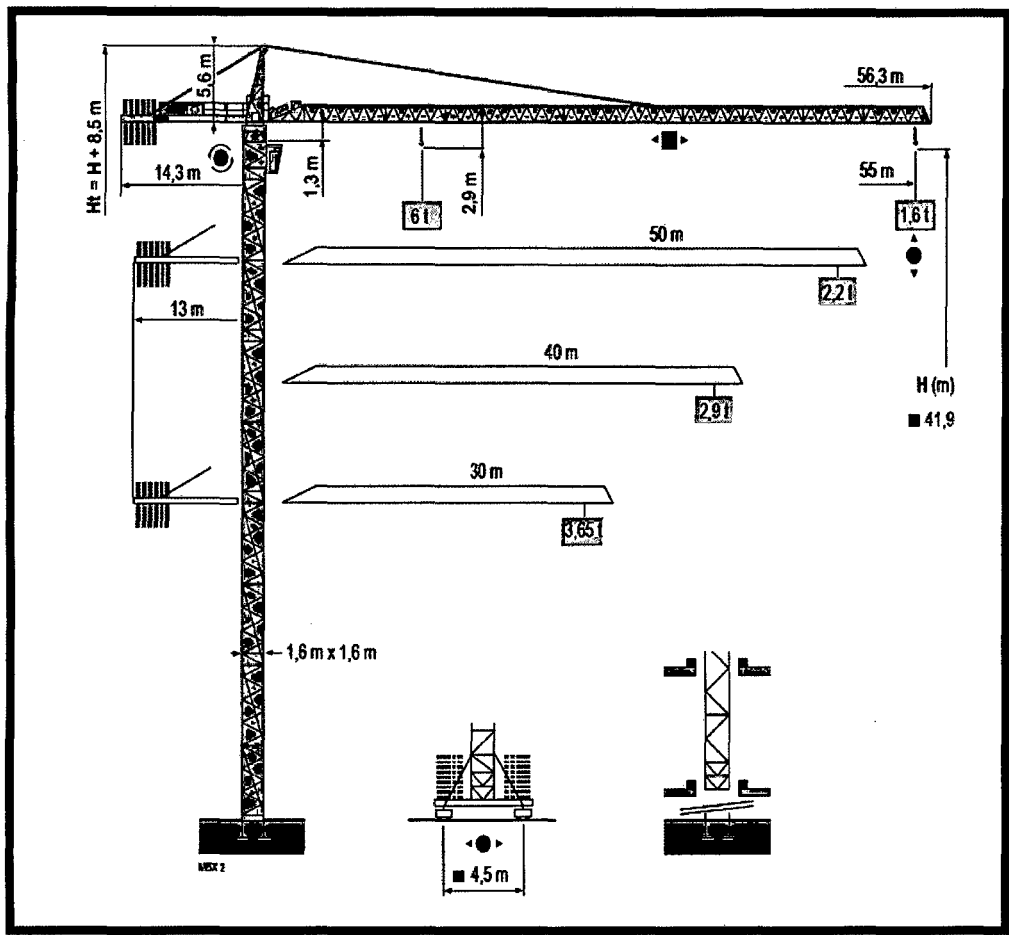
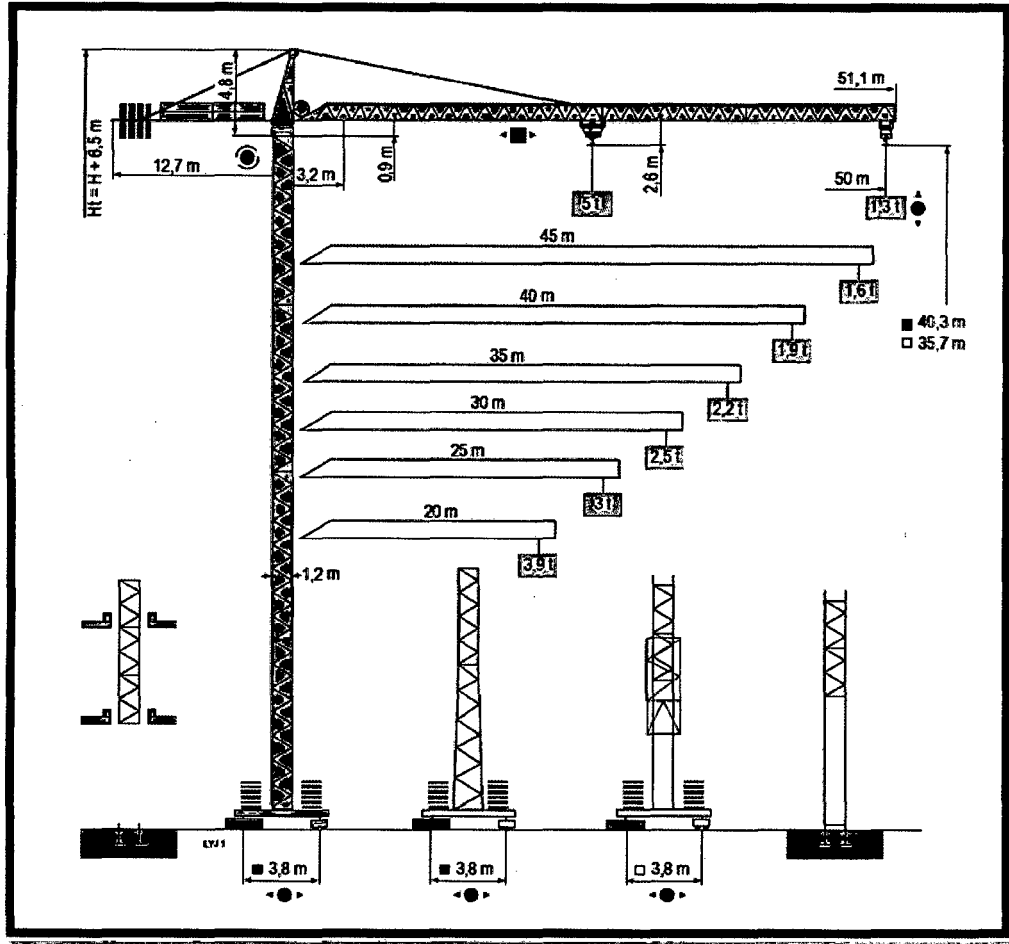


Fig. 4.11: Esquema de las Características de la Grúa Torre MC 85
 (POTAIN, 2003)

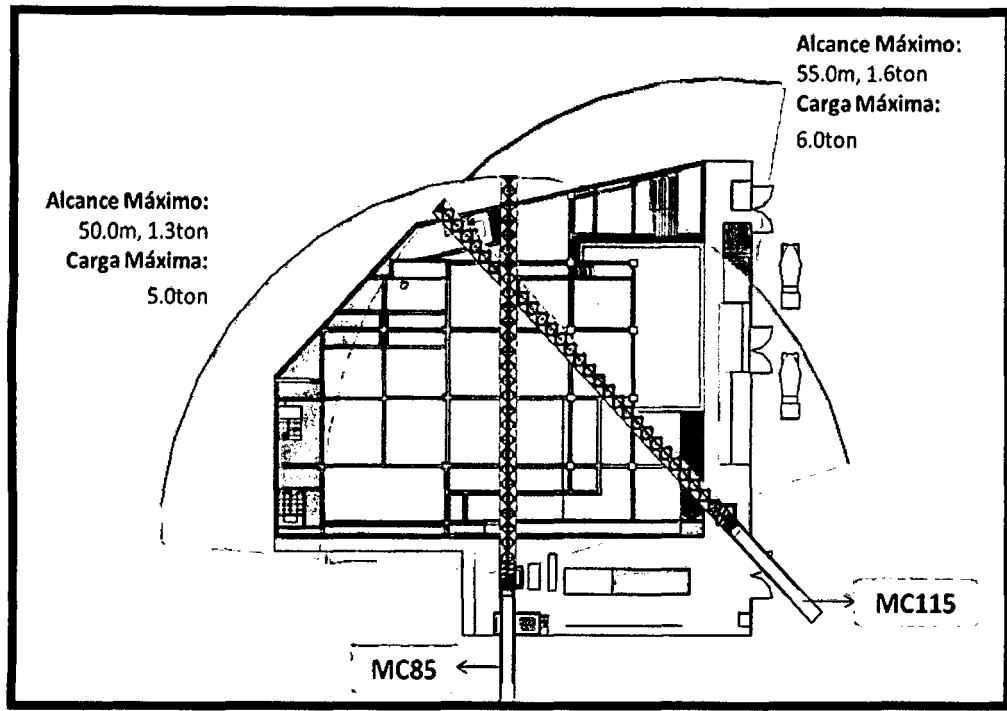


La capacidad de carga de ambos tipos de grúas torre se observa en la tabla 4.10. En la figura 4.12 se observan las dos grúas torre usadas en el Proyecto Universidad del Pacífico.

Tabla 4.10: Valores de Capacidad de Carga para las Grúas Torre Usadas
 (Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)

Tipo de Grúa Torre	Carga Máxima (Tn)	Carga en Punta (Tn)	Alquiler (US\$)
MC 115	6	1.6	24.0 / hora
MC 85	5	1.3	20.0 / hora

Fig. 4.12: Grúas Torre MC 115 y MC 85
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)



Cabe mencionar que, dada la gran capacidad de carga de las grúas torre, es posible trasladar máquinas pequeñas, tales como aplanadoras, faja transportadora, mini-telehandler y bodcat entre otros.

De igual manera, para el Proyecto Gran Teatro Nacional se seleccionaron las grúas torre PECCO PC 1400 y SK 135, cuyas características se observan en la figura 4.13 y en la figura 4.14 respectivamente.

Fig. 4.13: Esquema de las Características de la Grúa Torre PC 1400
 (Morrow Equipment Co.)

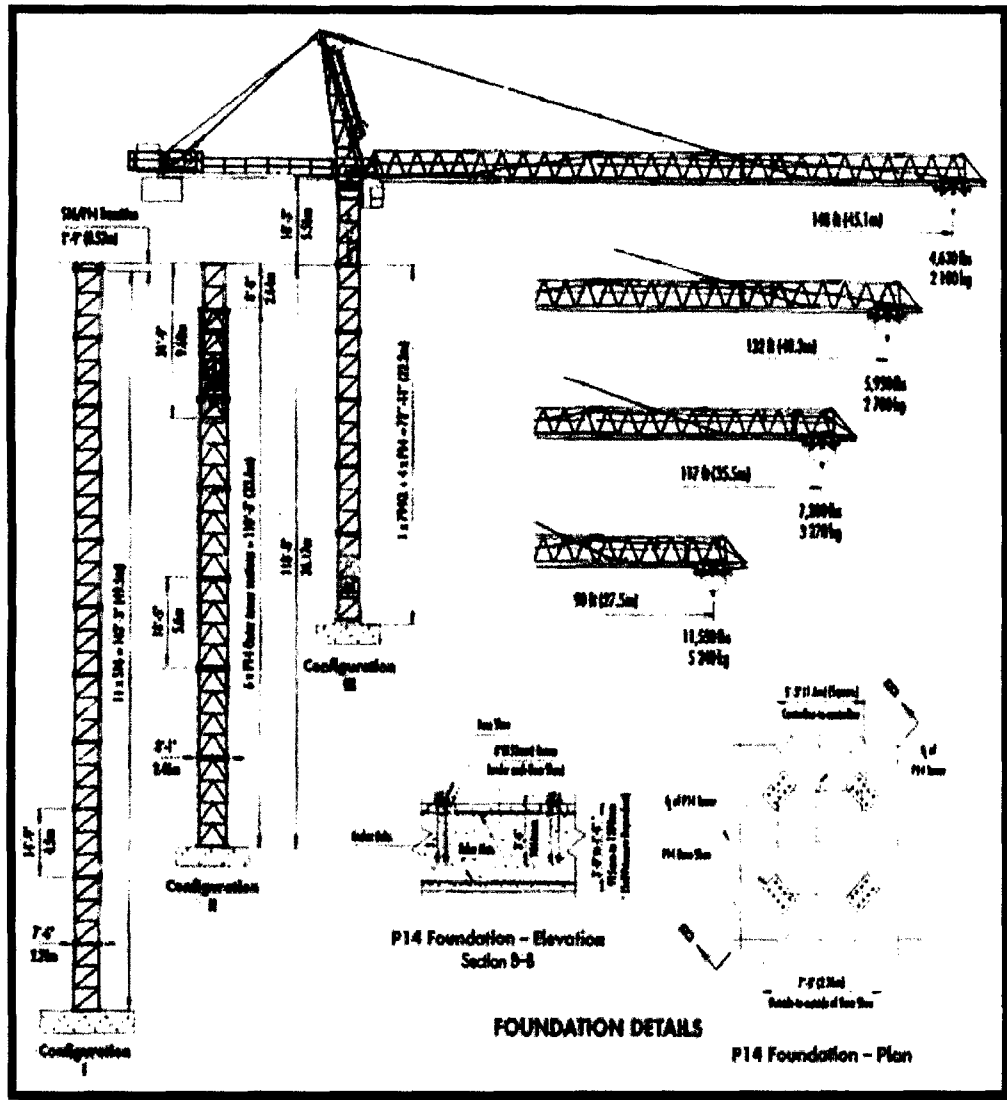
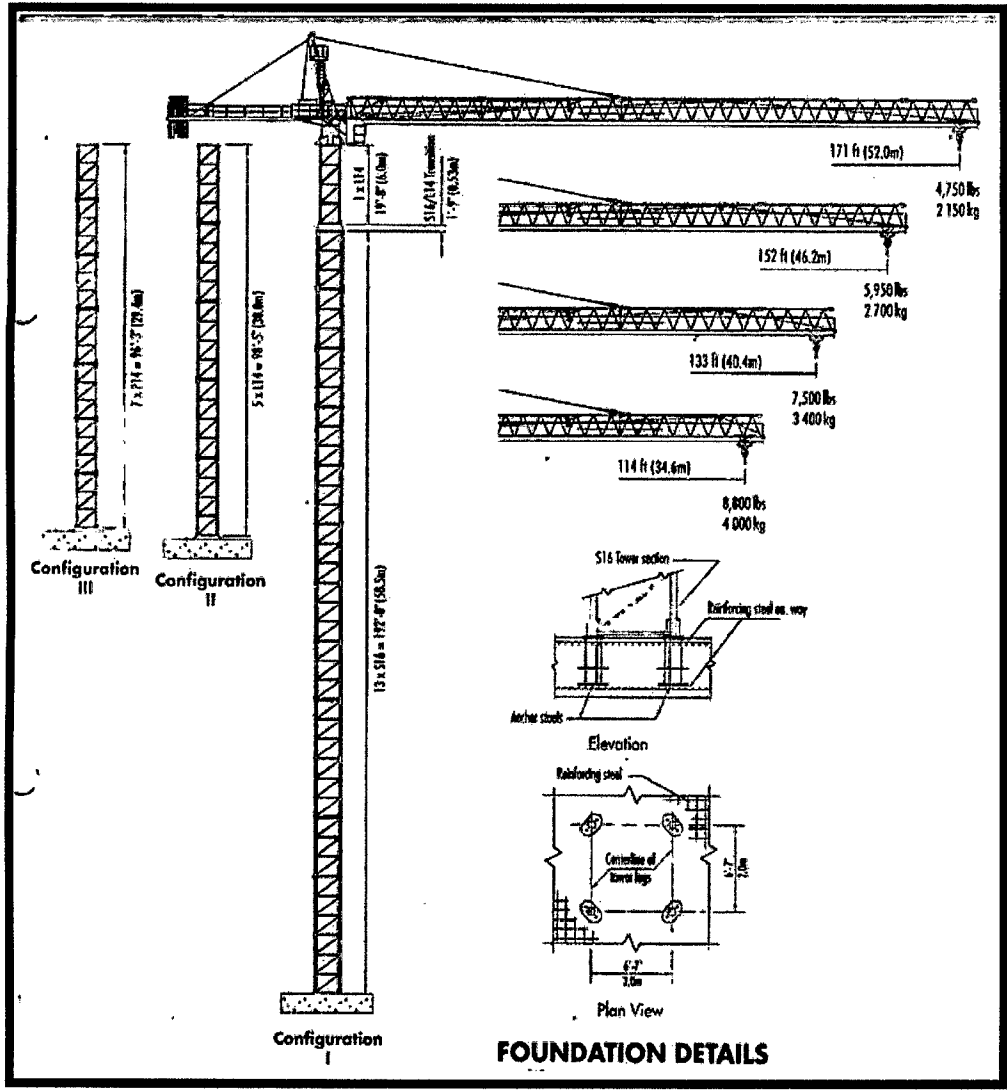


Fig. 4.14: Esquema de las Características de la Grúa Torre SK 135
 (Morrow Equipment Co.)

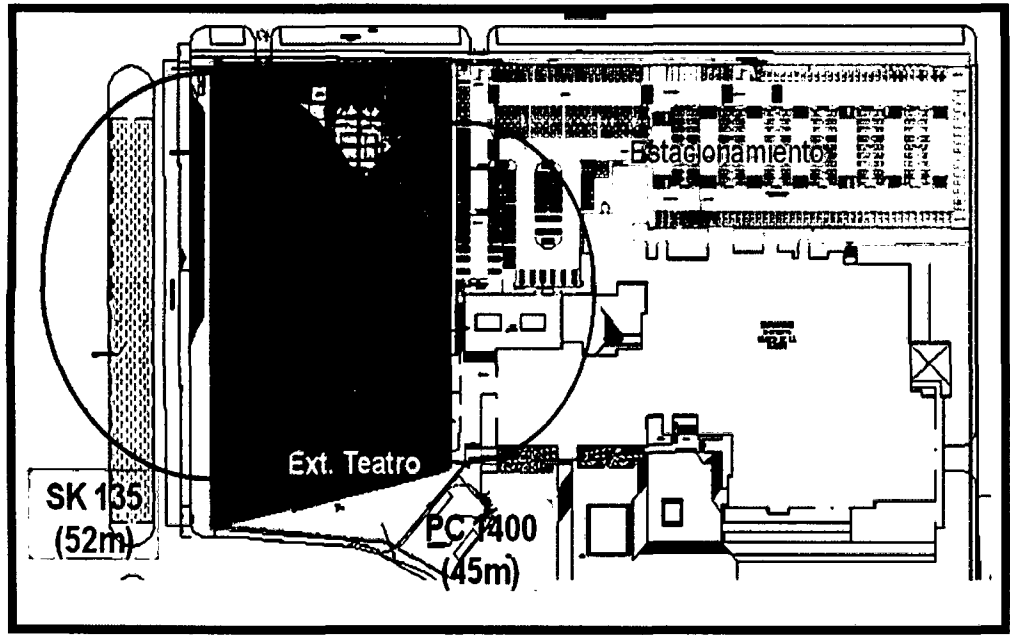


La capacidad de carga de ambos tipos de grúas torre se observa en la tabla 4.11. En la figura 4.15 se observan las dos grúas torre usadas en la Obra Gran Teatro Nacional.

Tabla 4.11: Valores de Capacidad de Carga para las Grúas Torre Usadas
 (Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)

Tipo de Grúa Torre	Carga Máxima (Tn)	Carga en Punta (Tn)	Alcance (m)
PC 1400	8	2.1	45.0
SK 135	4	2.1	52.0

Fig. 4.15: Grúas Torre PC 1400 y SK 135
(Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)



Uno de los muchos beneficios obtenidos con el uso de estos equipos fue la mejora en el flujo de procesos que producían éstos en beneficio de la productividad de los trabajos, es decir que se disminuían drásticamente los tiempos muertos en cada uno de los trabajos, dado que en muchas de las actividades se reemplazaron la mano de obra, con la que se trabajaba tradicionalmente, por las grúas torre.

Otro de los notables beneficios obtenidos gracias al uso de las grúa torre fue la disminución del plazo de la finalización de las actividades, con lo cual se garantizaba el cumplimiento del plazo establecido.

Criterio de Altura de Grúas

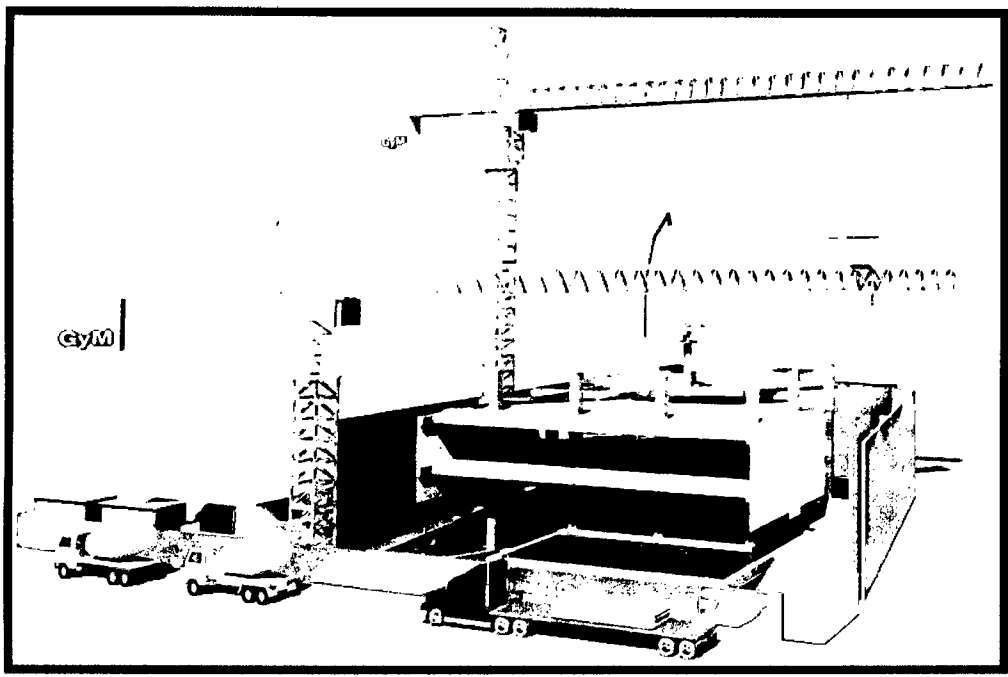
La altura de las grúas torre depende de las necesidades del proyecto, es decir puede variar a lo largo de todo el proyecto.

En la experiencia del Proyecto Universidad del Pacífico las alturas para la Grúa Torre MC 85 y Grúa Torre MC 115 eran diferentes. Las alturas iniciales con las que se montaron las grúas torre al principio tuvieron que variar a lo largo del proyecto, la primera grúa torre en montarse fue la Grúa Torre MC 115 o

denominada también convencionalmente Grúa Torre 1, con la cual se pudo realizar el montaje de la Grúa Torre MC 85 o denominada también Grúa Torre 2.

Para el caso del proyecto bajo estudio, la Grúa Torre MC 85 debía tener una mayor altura que la Grúa Torre MC 115, debido a que la ubicación de la Grúa Torre MC 115 permitía tener acceso más rápido a la zona de carga 3, zona a la cual llegaban pre-losas, y de igual manera la ubicación de la Grúa Torre MC 85 fue planificada para que tenga un acceso eficaz a la zona de carga 2, de manera que la pluma de la grúa torre más alta debería girar 360°, asegurando así la libertad de giro de la pluma de dicha grúa torre y por consiguiente permitiendo la fluidez de procesos importantes, evitando tiempos muertos. En la figura 4.20 se observan las zonas de carga de las grúas torre.

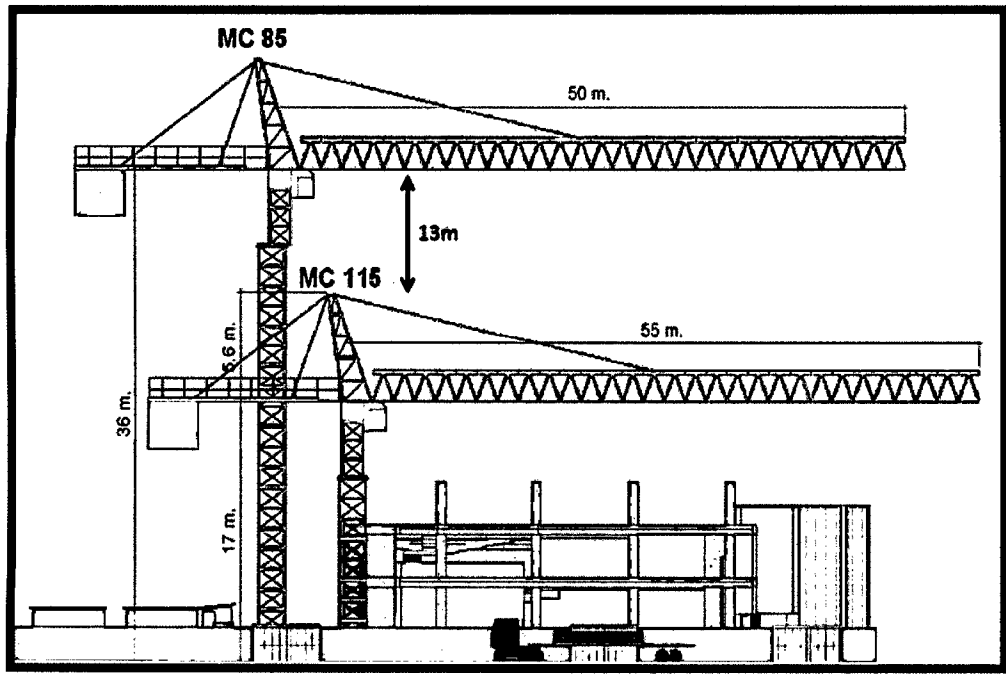
**Fig. 4.16: Vista de la Distribución de Alturas de las Dos Grúas Torre
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



El desfase de altura entre las plumas de cada una de las grúas torre resultaba importante, debido a que la Grúa Torre 2 (que debería encontrarse a mayor altura) trasladaría elementos de acero pre-armados, siendo el de mayor altura el acero pre-armado para columnas, con una altura máxima aproximada de 10 metros, pero además de la esta altura, era necesario aumentar dicho valor con

un margen de error de 3 metros, para evitar cualquier contratiempo, tal como la colisión de la parte inferior del pre-armado con la pluma de Grúa Torre 1.

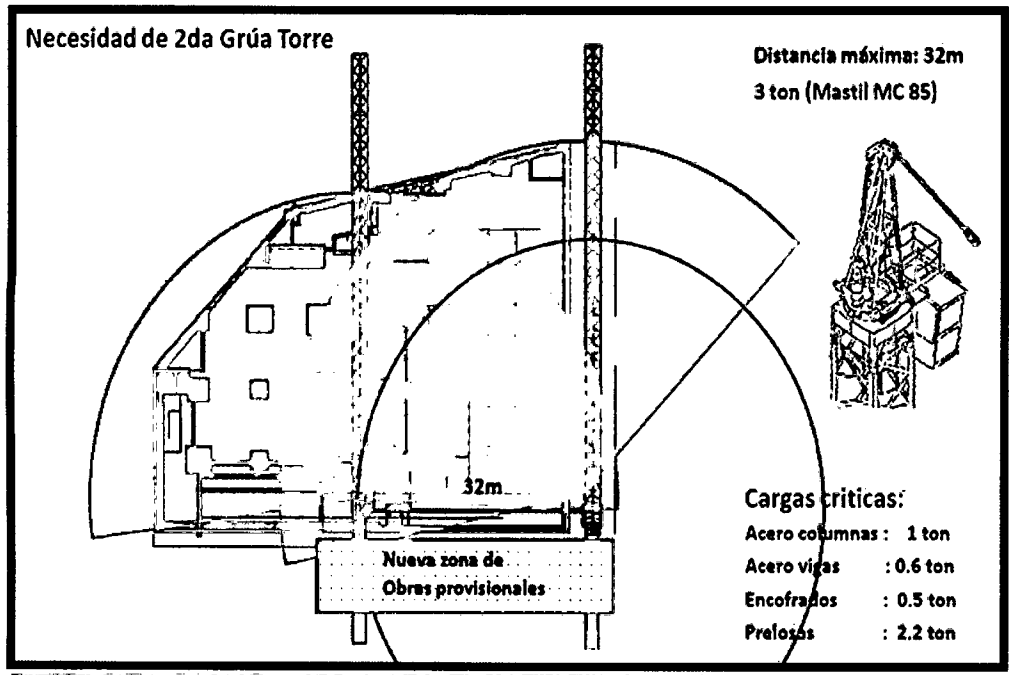
**Fig. 4.17: Desfase de Altura entre las Dos Grúas Torre
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



Al tenerse dos grúas torre a una distancia de sólo 32 metros, teniendo cada una de las plumas un alcance de aproximadamente 50 metros, solo una de las dos grúas torre podría tener el barrido de la pluma a lo largo de toda la vuelta, se decidió que la Grúa Torre 2 tuviera la libertad de giro completo, ya que esta se encargaría de los trabajos con los aceros pre-armados debiendo tener libre acceso a la zona de carga correspondiente al armado de los aceros.

La distancia de 32 metros es la distancia máxima que se empleó para el montaje del mástil de la Grúa Torre MC 85, debido a que el mástil representaba una carga crítica de 3 toneladas para su montaje, y de acuerdo a las características de carga de la Grúa Torre MC 115, ésta puede cargar como máximo 3 toneladas a una distancia de 32 metros.

**Fig. 4.18: Vista de la Distancia entre las Dos Grúas Torre
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



Distancias de Seguridad en el Emplazamiento de la Grúa Torre

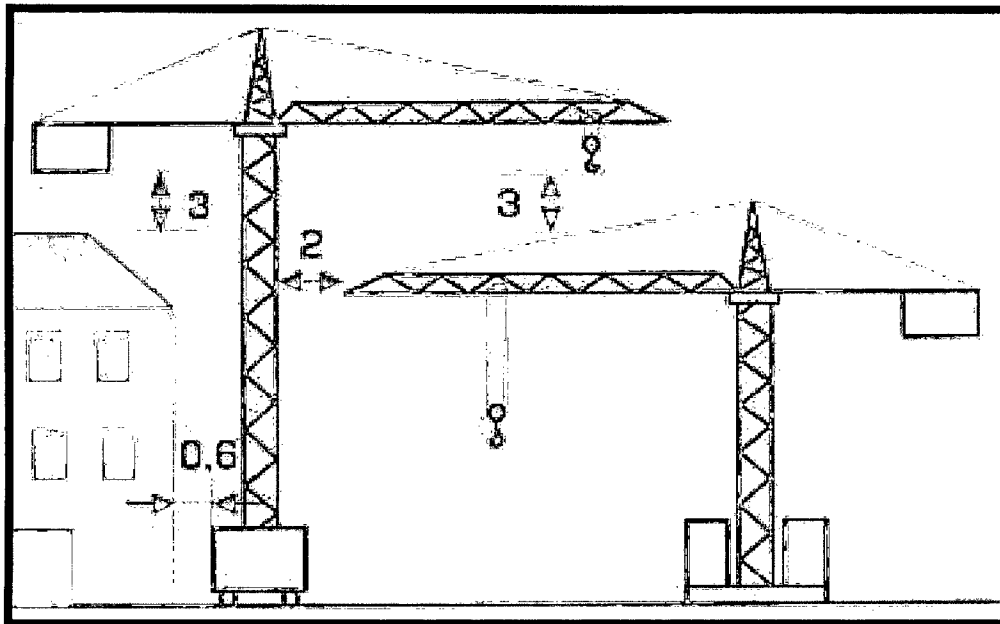
Uno de los puntos más importantes a considerar fue la planificación de la seguridad, para ello se tomó como referencia la Norma Técnica de Prevención Española (NTP 125: Grúas Torre), ya que en nuestro medio no se cuenta con una norma para este equipo.

- ✓ En ningún momento cualquier parte de la grúa torre, así como las cargas suspendidas, pueden entrar en contacto con las líneas eléctricas de alta tensión, debiendo existir entre estas líneas y dichos elementos un espacio de seguridad de al menos 5 metros (ésta distancia se debe mantener independientemente del voltaje de la línea eléctrica).
- ✓ Al ubicar una grúa torre, siempre se tratará de evitar que pueda interferir en el radio de barrido de otra; si no fuera posible, se colocarán de forma que nunca exista interferencia entre la flecha de la más baja y el mástil de la otra. La distancia vertical entre el elemento más bajo, gancho arriba, de la grúa torre más elevada y el elemento más alto susceptible de chocar

de la grúa torre, será como mínimo de 3 metros. Además las ubicaciones se indicarán en un plano previo al montaje.

- ✓ El espacio libre para el paso del personal entre las partes más salientes de la grúa torre y cualquier obstáculo será de 0.60 metros de ancho por 2.50 metros de alto. En caso de imposibilidad de aplicación de esta condición, se prohibirá el acceso de personal a esta zona peligrosa debiéndose dejar señalizada esta condición.
- ✓ El espacio libre vertical entre la pluma y la última área de circulación del personal deberá ser de 3 metros como mínimo, siendo recomendable 4.5 metros. Deberá de señalizarse esta condición en la zona de trabajo.
- ✓ La flecha de la grúa torre ha de poder girar completamente sin tropezar con ningún elemento de la propia construcción o edificios próximos, ya que ésta, cuando la grúa torre esté fuera de servicio, se dejará siempre en veleta, es decir, se orientará la flecha en la dirección del viento y sin freno, situando el gancho en la parte superior, sin carga, y lo más próximo a la torre.

Fig. 4.19: Distancias de Seguridad para el Emplazamiento de las Grúas Torre (NTP 125: Grúas Torre, España)



Prohibiciones en la Operación de la Grúa Torre

- ✓ Utilizar los elementos de elevación para hacer tracciones oblicuas de cualquier tipo.
- ✓ Arrastrar o arrancar objetos fijos del suelo o paredes.
- ✓ Elevar una carga superior a las indicadas en las especificaciones de la grúa torre.
- ✓ Transportar cargas por encima del personal.
- ✓ Transportar cargas por zonas transitadas por vehículos si no se ha cortado el paso y señalización anteriormente.
- ✓ Balancear las cargas para depositarlas en puntos donde no llega normalmente el aparejo de elevación.
- ✓ Utilizar las grúas torre para el transporte del personal.
- ✓ Apoyar el gancho en el suelo o cualquier otro lugar, de modo que el cable pueda quedar flojo con peligro de que salga de las poleas y tambores.

4.3.5. Planificación de los Trabajos Constructivos con Dos Grúas Torre

En los proyectos bajo estudio se dispuso del uso de las grúas torre como parte complementaria para el desarrollo eficaz y continuo de la obra.

Como toda actividad que se vislumbra exitosa, previamente se realiza un planeamiento del uso de los equipos, en aspectos tales como el cronograma de trabajos de las grúas torre y las asignaciones de trabajo para cada una de ellas.

Cronograma de Trabajos de las Grúas Torre

Para el caso de los proyectos bajo estudio, las actividades de las grúas torre se dividieron en dos horarios, el horario de la mañana y el de la tarde. Esta división fue originada debido al seguimiento del tren de actividades, estableciéndose horas en las que se desarrollaban actividades que se tomaron cotidianas.

Cabe mencionar que dichas actividades variaban, debido principalmente a los retrasos de algunos procedimientos previos. Por ejemplo, para el proceso de colocación de pre-losas, se demoró este proceso debido a que no se había

medido con anticipación el tamaño correcto de las pre-losas en ciertos sectores en los cuales la medida era diferente al estándar, por lo que se tuvo que cortarlas. Es decir que esta programación era solo una referencia de actividades a realizar. Por ahora sólo se menciona un cronograma tentativo a rasgos generales de la etapa de construcción de la estructura de la edificación.

**Tabla 4.12: Día Típico – Grúa Torre 1
 (Proyecto Universidad del Pacífico y Neo 10, GyM S.A.)**

Grúa Torre 1	
MAÑANA	1 Montaje de Acero vigas
	2 Apuntalamiento pre-losas
TARDE	3 Colocación pre-losas
	4 Acero losa

**Tabla 4.13: Día Típico – Grúa Torre 2
 (Proyecto Universidad del Pacífico y Neo 10, GyM S.A.)**

Grúa Torre 2	
MAÑANA	1 Encofrado vigas
	2 Desencofrado vigas
	3 Desencofrado columnas y placas
	4 Acero columnas y placas
TARDE	5 Desapuntalar pre-losas
	6 Encofrado columnas y placas

Identificación de Elementos de Mayor Peso

Una de las razones más importantes para la asignación de trabajos a cada una de las grúas torre es la identificación de los elementos más pesados, puesto que al ser los elementos de mayor peso se debe realizar los trabajos con todas las garantías posibles, es decir, son los elementos más críticos de todo el conjunto de cargas con los cuales se trabajan.

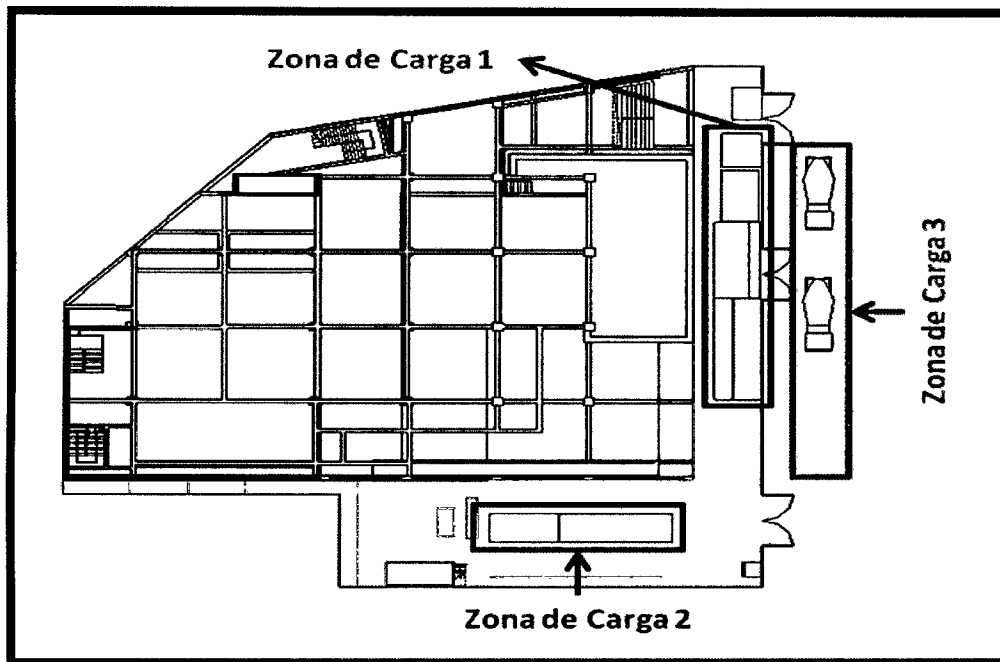
Es así que se realizó una investigación acerca de los pesos promedios a los elementos más importantes que se trasladaban con cada una de las grúas torre, encontrándose que los elementos más pesados de toda la gama de materiales eran:

- ✓ Pre-losas: 2200 Kg = 2.2 Tn
- ✓ Acero pre-armado para columnas: 1135 Kg = 1.1 Tn
- ✓ Acero pre-armado para vigas: 655 Kg = 0.6 Tn
- ✓ Encofrados: 545 Kg = 0.5 Tn

Asignaciones de Trabajo

Al tenerse dos grúas torre, se tiene que dividir el trabajo a realizar para cada una de ellas, pero para que el trabajo que realicen cada una de las grúas torre se lleve a cabo en forma ordenada se les asigna también una zona de carga para cada una. De esta manera se asignó una zona de carga principal para cada grúa torre, además de contar cada una de ellas con una zona de carga exterior, la cual corresponde a la calle propiamente dicha.

Fig. 4.20: Vista de las Zonas de Carga de las Grúas Torre
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)



Cada una de estas zonas de cargas es asignada con materiales comunes de traslado. En la Zona de Carga 1 comúnmente son almacenados todo tipo de materiales provenientes del descargue de los camiones estacionados contiguamente a esta zona, desde los cuales son trasladados los materiales con

ayuda de cualquiera de las grúas torre, entre los recursos que se presentan en esta zona de carga tenemos:

- ✓ Varillas de acero.
- ✓ Puntales para encofrados.
- ✓ Encofrados laterales.
- ✓ Soportes para puntales.

La Zona de Carga 2 es exclusiva para el almacenamiento de varillas de acero, con la finalidad de que se pueda realizar el pre-armado de las vigas y de las columnas. Esta zona es asignada a la Grúa Torre 2 (MC 85), ya que por el criterio de desfase de alturas entre las grúas torre, este equipo es el más adecuado para realizar los trabajos con los pre-armados elaborados en esta zona.

La Zona de Carga 3 corresponde a la parte exterior de la obra, lugar que es el punto de llegada de los camiones con materiales procedentes de fábrica, de manera que la Grúa Torre 1 (MC 115) es asignada para esta zona. Desde esta zona, o bien se descargan materiales a la Zona de Carga 2 (acero) o bien se traslada directamente al lugar de colocación correspondiente (pre-losas). Además en esta zona se almacenan materiales para desechar en vasijas especiales denominadas *cajas ecológicas*. Los principales materiales disponibles en esta zona para transportar son los siguientes:

- ✓ Pre-losas.
- ✓ Varillas de acero.
- ✓ Encofrados.
- ✓ Madera.
- ✓ Soportes para puntales.

4.4. ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL SISTEMA A BASE DE PRE-ARMADOS

Todo este análisis se realizó con la intención de ofrecer una guía de consulta para todo aquél que desee implementar una planificación de las mismas

características a las que se desarrollaron en los proyectos anteriormente mencionados. Y dar un lineamiento general para cualquier otro tipo de proyecto, con algunas pautas que se podrían aplicar dentro de las planificaciones que incluyan el uso de un sistema constructivo a base de pre-armados en otros proyectos.

4.4.1 Etapa de Identificación

Esta primera etapa tiene como objetivo identificar las principales actividades que se realizarán en el sistema bajo estudio, mediante el sencillo método de la observación en campo, puesto que sólo en el campo se puede apreciar procesos no previstos en la planificación.

A continuación, se analizó el pre-armado de vigas frente al armado tradicional de vigas, con lo cual se procede a explicar los problemas encontrados al armar una viga de manera tradicional y también haciendo uso del sistema constructivo a base de pre-armados.

Tabla 4.14: Análisis del Pre-armado de Vigas frente al Armado Tradicional de Vigas

	Armado Tradicional	Sistema a Base de Pre-armados
Grúa Torre (Maquinaria)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Viajes excesivos, ya que subir el material, en este caso el acero, por partes, es poco productivo. ✓ Disponibilidad limitada, debido a que en las obras bajo estudio, las grúas torre son utilizadas no sólo para el clásico acarreo de materiales, sino también para instalar elementos de distintas cuadrillas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Problemas en la coordinación de la grúa torre, ya que no se ha respetado el horario de la grúa torre o ésta se encuentra moviendo algún otro elemento. ✓ Tiempo de colocación excesivo, evitando que se realicen otras maniobras de importancia.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mal dimensionado y/o mal habilitado, esto por un error de fábrica o por una incorrecta especificación en los planos. Finalmente, ocasiona un retrabajo. ✓ Deficiente ordenamiento en obra, lo cual trae como consecuencia que se pierdan horas hombre en la búsqueda del material. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tarjetas de identificación, ya que en un inicio, existía inconvenientes para poder identificar los elementos, por desconocimiento de dónde es que se encontraba la información en éstas.

	Armado Tradicional	Sistema a Base de Pre-armados
Métodos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No hay frente de trabajo, esta situación se presenta cuando la cuadrilla de encofrados no ha podido desarrollar la instalación de fondo de vigas y, por lo tanto, la cuadrilla de aceros no puede comenzar a armar las vigas. Además no se puede colocar los lados del encofrado de viga, sí la armadura no está lista sobre el fondo de viga. ✓ Lugar de trabajo difícil, ya que todo el tiempo se encuentran trabajando sobre los tablonos del andamio, enganchados con su respectivo arnés. ✓ Escasez de espacio, tal que genera aglomeración de trabajadores de distintas cuadrillas en un mismo sitio, lo cual hace que el trabajo lo realicen de manera más lenta (la productividad disminuye), generando además cierta incomodidad entre cuadrillas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nueva forma de trabajo, la cual, como todo proceso novedoso, muestra en un inicio dificultad para ser realizada. ✓ Falta de orden, el cual se originaba cuando el acero es recibido en obra. La falta de herramientas que permitan la ubicación y el ordenamiento del material complicaban aún más esta situación. ✓ No existe sitio fijo de pre-armado, por lo que los tiempos en viajes y transportes son muy variables, dado que el material no puede colocarse cerca del sitio de pre-armado. ✓ Estribos de emplentado, ya que se tenían problemas para saber de qué manera reforzar el elemento estructural con el fin de que éste sea trasladado de la manera más segura posible. ✓ Complicada instalación, ya que se complicaba el descenso de la viga a través de los elementos verticales.
Mano de Obra	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Concentración, por dos razones. La primera, que todo el tiempo tienen que estar enganchados, por lo tanto, deben de estar preocupados por su seguridad continuamente. La segunda, porque al engancharse y desengancharse, pierden la concentración que se gana al realizar un trabajo de manera continua, asimismo, disminuye la velocidad a la que normalmente realizan la actividad. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Falta de concientización del personal para que puedan trabajar con el acero dimensionado, ya que al ser un método no convencional, los trabajadores en un inicio se mostraban reacios hacia este nuevo método. Además se tenían problemas con la lectura de los planos del acero dimensionado proporcionado por AASA (Aceros Arequipa S.A. – proveedor de acero dimensionado).

4.4.2. Etapa de Intervención

Luego de realizarse las visitas a campo, se procedía a la elaboración de recomendaciones, para su presentación en las reuniones de producción que se desarrollaban semanalmente. Cabe mencionar que no todas las implementaciones se desarrollaron de manera simultánea.

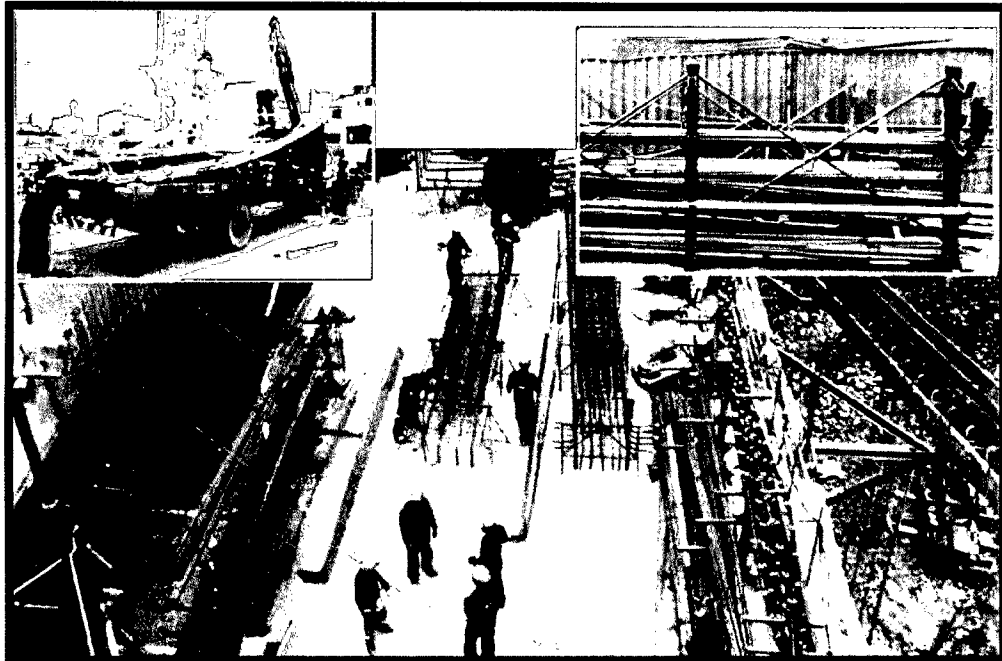
Como se está apreciando, se analizó el pre-armado de vigas frente al armado tradicional de vigas, dándose mejoras para el procedimiento de pre-armado de vigas. Las mejoras fueron las siguientes:

Recomendación para el Orden en la Obra

El orden es un factor básico para que un proceso se desarrolle sin interrupciones. Es por esto que se consideró necesario el ordenar adecuadamente tanto estribos como fierros.

Para los fierros longitudinales, cuando el espacio lo permitió, se utilizó el organizador mostrado en la figura 4.21. Para los estribos, se idearon parantes para colocarlos, en ellos los estribos se organizaban por su tamaño o de acuerdo al orden en el que los distintos elementos iban a ser armados.

**Fig. 4.21: Organizador de Acero Proporcionado por Aceros Arequipa S.A.
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**

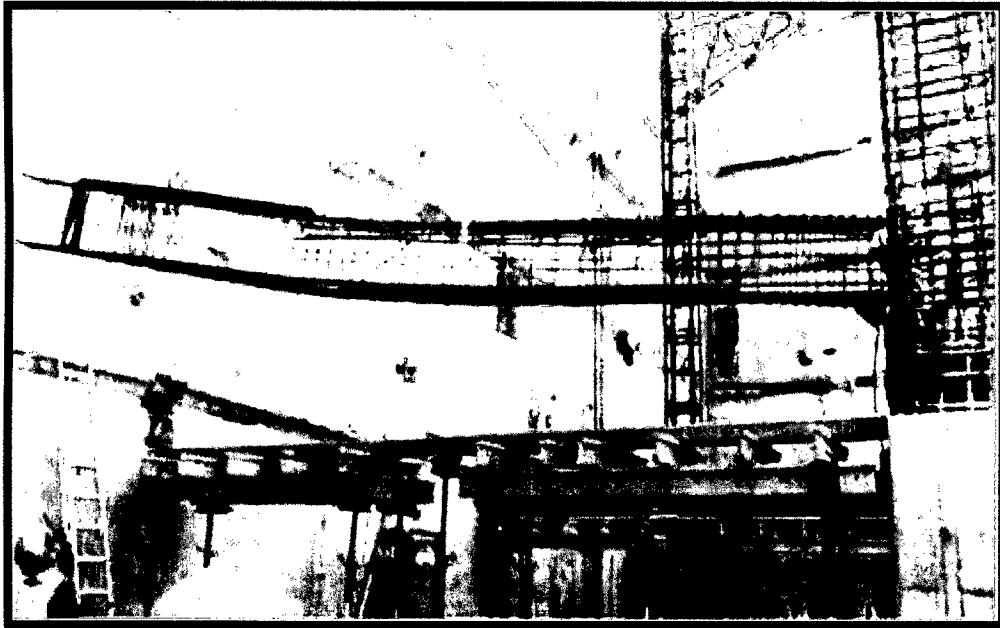


Gestión con el proveedor de acero para que éste venga en despachos agrupados por sectores, así como compilados por elementos. De esta manera, se evita que la cuadrilla de acero emplee mucho tiempo buscando el fierro determinado para cada elemento.

Recomendación para la Colocación del Acero de una Viga Pre-armada

Instalar varias vigas pre-armadas en un solo viaje: El tiempo de preparación disminuye, así como el de instalación. La principal ventaja es que el flujo del trabajo presenta menos espacios vacíos.

**Fig. 4.22: Instalación de Vigas Pre-armadas
(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)**



Asimismo se recomendó contar con herramientas necesarias en caso se requiera realizar algún tipo de procedimiento necesario, en el momento de la colocación de las nuevas varillas de acero, como por ejemplo realizar algún tipo de golpeo a las varillas, con la finalidad de encajar correctamente cada una de las barras.

Recomendación para la Colocación del Encofrado para Fondo de Viga

El problema que se producía al momento de la colocación del encofrado para fondo de viga se resumía en la demora ocasionada por el personal humano, en el armado de los puntales que requerían estos tipos de encofrados para su sostenimiento.

La recomendación que se planteó, consistió en agilizar el proceso de armado de los puntales con la asignación de personal con mayor experiencia para dicho trabajo, de manera que el tiempo del armado disminuya, con lo cual lógicamente disminuirá el tiempo de colocación del encofrado.

Recomendación para el Uso de las Grúas Torre

Antes del inicio de los trabajos con varias grúas torre es necesario realizar un buen planeamiento de las actividades que desarrollarán cada una de las grúas torre, con la finalidad de evitar los tiempos muertos.

Para contrarrestar el percance de los tiempos de espera se recomienda realizar una charla instructiva a todo el personal que formaba parte de los trabajos con las grúas torre, llámense los operadores de grúas y los riggers. Principalmente a los riggers, ya que ellos son los que trabajan directamente con al empaquetadura de los materiales para ser trasladados, de manera que son agentes agilizadores de los procesos que se desarrollan con las grúas torre.

Para el caso de interferencias de las grúas torre se recomienda establecer el diálogo con los operadores de ambas grúas, con la finalidad de que ambos puedan mantenerse informados de las acciones que realizará la otra grúa torre, y mantenerse alertas sobre las posibles acciones que podrían causar el origen de tiempos muertos de este tipo.

Para contrarrestar el percance de la falta de labores de alguna de las grúas torre se recomienda realizar una verificación de los trabajos que se realizarán el día siguiente, de manera que se aseguren que las actividades se desarrollarán sin ningún contratiempo.

Recomendación para el Horario de las Grúas Torre

Dado que la grúa torre es una de las principales restricciones para el método del pre-armado, se pensó adecuado crear un horario para el uso de las grúas torre. Para ello se partió de la base de una programación tentativa desarrollada en la

etapa de planificación, de la cual se originó una programación diaria para las grúas torre, el cual fue el siguiente:

**Tabla 4.15: Programación Diaria de las Dos Grúas Torre
(Proyecto Universidad del Pacífico y Neo 10, GyM S.A.)**

HORARIO	GRÚA TORRE 1	GRÚA TORRE 2
07:30 – 08:00	Acero Vertical	Acero Vigas
08:00 – 09:00	Acero Vertical	Acero Vigas
09:00 – 10:00	Costado y Apuntalamiento	Acero Vigas
10:00 – 11:00	Encofrado Vertical	Encofrado Fondos
11:00 – 12:00	Pre-losa	Encofrado Fondos
12:00 – 13:00	Almuerzo	Almuerzo
13:00 – 14:00	Pre-losa	Encofrados Fondos
14:00 – 15:00	Pre-losa	Encofrados Fondos
15:00 – 16:00	Pre-losa	Movimiento Pre-armado
16:00 – 17:00	Movimiento Pre-armado	Piedras – Vaciados
17:00 – 18:00	Carga y Descarga	Montajes Especiales
18:00 – 19:00	Carga y Descarga	Montajes Especiales

Recomendación para Evitar la Distracción de Personal

El problema se trata de un hecho personal, ya que cada empleado se responsabiliza del trabajo serio que desarrolla, el problema es el de la distracción del personal cuando se encuentra en hora de trabajo.

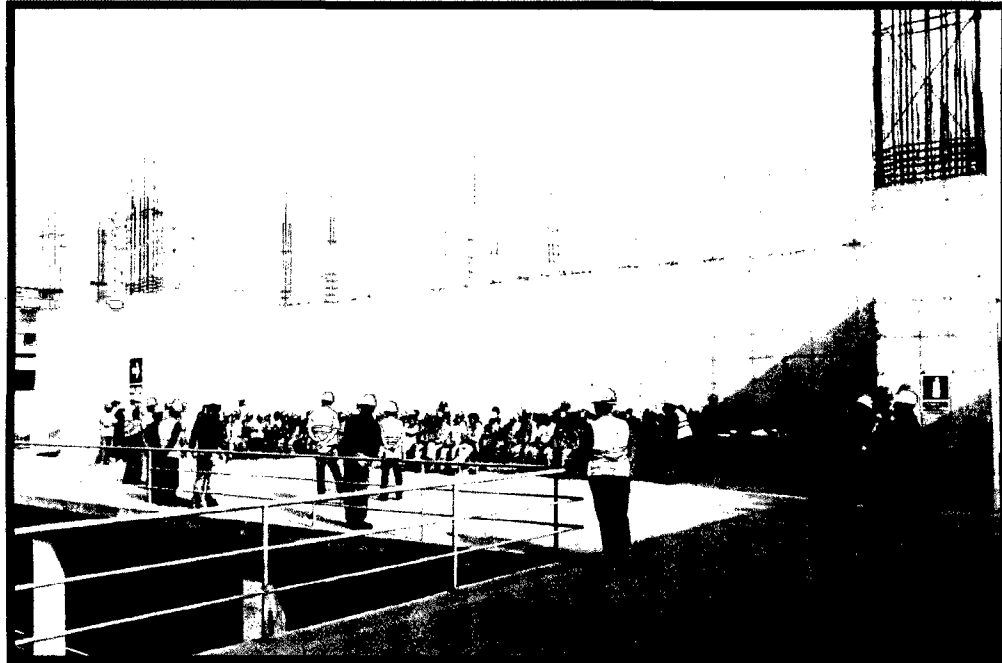
La recomendación más elocuente para estos casos es brindar charlas de motivación a los obreros, buscando la concientización del personal, hacerle entender que él trabaja por un bien común y de esta manera que se sientan identificados con el trabajo a realizarse. También se debe brindar buen trato al personal e incentivos tal que reduzcan el tiempo improductivo.

Recomendación para la Seguridad del Personal

La seguridad del personal es un factor de gran importancia, ya que sumado a los problemas generados por un accidente en obra, se tiene que los accidentes generan tiempos improductivos por interrupciones y por ausencias.

Se recomendó la difusión de las medidas de seguridad y concientización de estas medidas, se debe saber cómo hacer para que el trabajador entienda y ponga en práctica las medidas de seguridad. Asimismo se recomendó brindar charlas de seguridad diarias de 5 minutos antes de iniciar la jornada laboral y charlas de seguridad semanales de 15 minutos.

**Fig. 4.23: Charlas de Seguridad Antes de Iniciar la Jornada Laboral
(Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)**



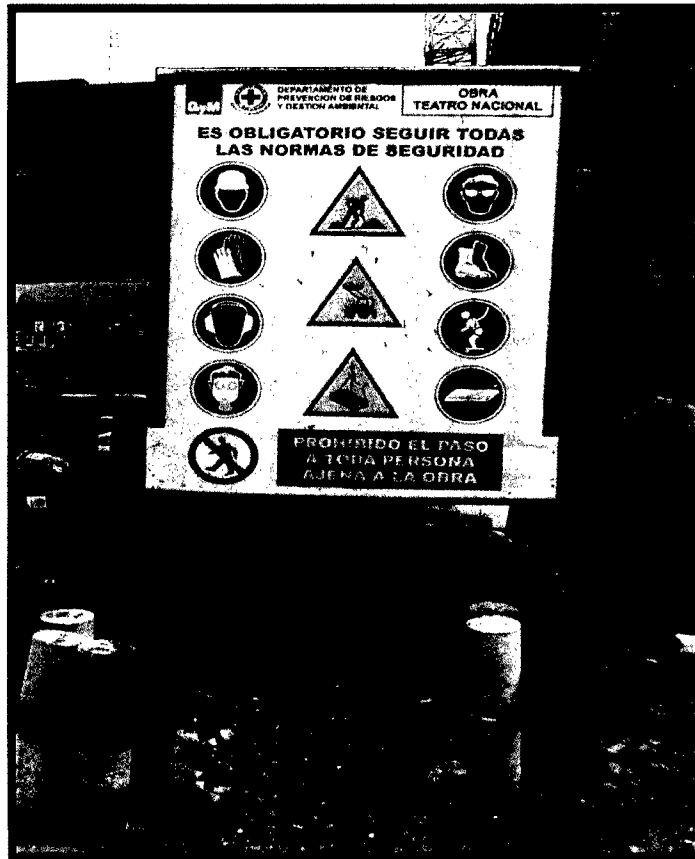
Equipo de Protección Personal y Colectivo

Serán utilizados equipos de protección individual y colectiva que los protejan adecuadamente de aquellos riesgos para su salud o su seguridad. Es obligatorio usar:

- ✓ Cascos de seguridad certificados.
- ✓ Tapones auditivos o protectores auditivos acoplables a los cascos de protección.
- ✓ Lentes de protección contra impactos y anti-polvo.
- ✓ Guantes contra las agresiones mecánicas (perforaciones, cortes y vibraciones).

- ✓ Calzado provisto de suela y puntera de seguridad contra las agresiones mecánicas.

Fig. 4.24: Equipos de Protección de Uso Obligatorio en Obra
(Gran Teatro Nacional, GyM S.A.)



4.4.3. Etapa de Control

En esta etapa, lo que se pretende mostrar es la evolución del método a través del tiempo, es así que se tienen cálculos para la etapa de aprendizaje y también para la etapa de estabilización. Los ratios de productividad obtenidos para cada una de estas etapas son:

Ratio de Productividad en la Etapa de Aprendizaje

En este caso, el ratio de productividad es superior al que se pensó en un inicio, ya que se trataba de los primeros pre-armados. Pero dada la curva de aprendizaje, es evidente que el tiempo total empleado disminuirá luego.

Tabla 4.16: Tiempo del Ciclo y Productividad para Vigas Pre-armadas (Etapa de Aprendizaje)

Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas			
Acción	Obreros	Tiempo	Total (min)
Búsqueda y Ubicación	2	23 min	46
Pre-armado	2	131 min	262
Preparación de Elemento	2	21 min	42
Instalación	2	14 min	28
Armado	2	7 min	14
Tiempo Ciclo (min)			392
Tiempo Ciclo (HH)			6.53
Peso de Acero (kg)			220.82
Ratio de Productividad			0.0296 HH/kg

Ratio de Productividad en la Etapa de Estabilización

Los datos considerados corresponden a un periodo intermedio de la construcción de la estructura, ya que para ese momento se puede obtener datos más confiables, debido a la curva de aprendizaje.

Tabla 4.17: Tiempo del Ciclo y Productividad para Vigas Pre-armadas (Etapa de Estabilización)

Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas			
Acción	Obreros	Tiempo	Total (min)
Búsqueda y Ubicación	1	17 min	17
Pre-armado	2	88 min	176
Preparación de Elemento	1	3 min	3
Instalación	2	17 min	34
Armado	2	6 min	12
Tiempo Ciclo (min)			242
Tiempo Ciclo (HH)			4.03
Peso de Acero (kg)			235.70
Ratio de Productividad			0.0171 HH/kg

Dentro de cada tipo de proyecto se tendrán diferentes condiciones que variarán los valores de los ratios de productividad. A manera de resumen, se presentan los siguientes ratios de productividad promedio del Anexo 03 para cada tipo de sistema empleado:

Tabla 4.18: Resumen de los Ratios de Productividad en Vigas (HH/kg)

Promedio Total	0.0231
Promedio Armado Tradicional	0.0291
Promedio Pre-armado	0.0196

4.4.4. Cálculo de la Productividad de la Grúa Torre en la Colocación de Vigas Pre-armadas

Estos cálculos corresponden solamente al de un ciclo de actividad del proceso, es decir se tomó estos tiempos desde el inicio del enganche hasta el fin del desenganche, por lo que se realiza el cálculo de la productividad de acuerdo al detalle mencionado. Lógicamente las actividades de cada ciclo eran repetitivas para cada trabajo con similares características, de manera que se tomó un valor promedio de todas las muestras recolectadas en campo.

Además cabe mencionar que los datos considerados corresponden a un periodo intermedio de la construcción de la estructura, ya que para ese momento se puede obtener datos más confiables, debido a la curva de aprendizaje obtenida en cada uno de los procesos.

Tabla 4.19: Tiempo del Ciclo y Productividad en la Colocación de Vigas Pre-armadas – Grúa Torre 2

Acero Viga Pre-armada	
Acción	Tiempo
Enganche	150 seg
Elevación	15 seg
Movimiento de carro	90 seg
Giro de la pluma	30 seg
Descenso	15 seg
Colocación	210 seg
Desenganche	120 seg
Total (seg)	630
Tiempo ciclo (min)	10.5
Tiempo ciclo (hrs)	0.175
Peso acero (kg)	650
Productividad	3714.29 kg/hm

Asimismo se muestra la productividad en la colocación del encofrado para el fondo de viga:

Tabla 4.20: Tiempo del Ciclo y Productividad en la Colocación del Encofrado para Fondo de Viga (3.2mx0.5m) – Grúa Torre 2

Encofrado fondo de viga		
Acción	Medición 1	Medición 2
Enganche	120 seg	120 seg
Elevación	15 seg	15 seg
Movimiento de carro	60 seg	60 seg
Giro de la pluma	30 seg	30 seg
Descenso	15 seg	15 seg
Colocación	185 seg	180 seg
Desenganche	60 seg	60 seg
Total (seg)	485	480
Tiempo ciclo (min)	8.08	8.00
Tiempo ciclo (hrs)	0.135	0.133
Área encofrado (m²)	1.6	1.60
Productividad (m²/hm)	11.85	12.03
Promedio de la Productividad:		11.94 m²/hm

A continuación, se procede a mostrar otros resultados de productividad obtenidos debido a la etapa de intervención, es decir con recomendaciones.

Tabla 4.21: Productividad en la Colocación del Encofrado para Fondo de Viga (3.2mx0.5m) con Recomendaciones

Encofrado fondo de viga			
Acción	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Enganche	90 seg	90	90
Elevación	15 seg	15	15
Movimiento de carro	60 seg	55	60
Giro de la pluma	30 seg	30	30
Descenso	15 seg	15	15
Colocación	120 seg	115	120
Desenganche	60 seg	60	60
Total (seg)	390	380	390
Tiempo ciclo (min)	6.50	6.33	6.50
Tiempo ciclo (hrs)	0.108	0.106	0.108
Área encofrado (m²)	1.60	1.60	1.60

Productividad (m ² /hm)	14.81	15.09	14.81
Promedio de la Productividad Con Recomendaciones:			14.90 m ² /hm

En la tabla 4.21 se observa que la productividad para la actividad de encofrado para fondo de viga mejora, con lo cual se puede comprobar que las recomendaciones impartidas para ese tipo de procedimiento fueron efectivas.

Se realizó el cálculo de la variación de los valores determinados para el caso del desarrollo de la actividad en condiciones normales, mostrado en la tabla 4.20, para compararlo con el valor obtenido luego de poner en práctica las recomendaciones respectivas, con lo cual se tiene:

$$\Delta \text{ Productividad} = \frac{14.90 - 11.94}{14.90}$$

$$\Delta \text{ Productividad} = 19.87\%$$

De la estimación realizada, se puede observar que el aumento de la productividad, luego de considerar las recomendaciones, para el trabajo de encofrado para fondo de viga es un valor de 19.87%.

4.4.5. Estimación de Horas Hombre Ahorradas en el Sistema a Base de Pre-armados

Asimismo, conviene mostrar las horas hombre ahorradas usando el sistema a base de pre-armados. Esto se consiguió considerando los ratios de productividad promedio de la tabla 4.18.

Tradicional	0.0291 HH/kg
Pre-armado	0.0196 HH/kg

Pesos de Vigas por nivel:

Sótano 07 – 01	74,432.61 kg
Piso 01 – 05	53,166.15 kg
Total	127,598.76 kg

Horas Hombre empleadas (HH):

Tabla 4.22: Diferencia de Horas Hombre Empleadas entre Ambos Sistemas

Sistema	Ratio (HH/kg)	Peso Acero (kg)	Total HH
Tradicional	0.0291	127,598.76	3,713.12
Pre-armado	0.0196	127,598.76	2,500.94
Ahorro (HH)			1,212.18

Assumiendo el costo del obrero en \$ 5.00/HH en promedio, tenemos:

Tabla 4.23: Estimación del Costo de Horas Hombre en Ambos Sistemas

Sistema	Ratio (HH/kg)	Tiempo (HH)	Costo (US\$)
Tradicional	0.0291	3,713.12	18,565.60
Pre-armado	0.0196	2,500.94	12,504.70
Ahorro		1,212.18	6,060.90

Considerando el uso de la grúa torre:

De la tabla 4.10 tenemos que el alquiler de la grúa torre es de US\$ 20.00/hora para la Grúa Torre 2 (MC 85), que es la grúa torre que desarrolla el trabajo de colocación de las vigas pre-armadas.

El Proyecto Edificio Universidad del Pacífico cuenta con 7 sótanos y 5 pisos superiores, es decir, 55 sectores en total, ya que los sótanos tienen 5 sectores, mientras que los niveles superiores tienen 4 sectores. Dado que cada día se construye un sector, entonces son 55 días en los que, en óptimas condiciones, se debe de construir el edificio.

De la tabla 4.15 se deduce que el uso diario de la Grúa Torre 2 en lo que a instalación de vigas pre-armadas se refiere es de 2.5 hm en promedio, entonces tenemos que en total, en toda la estructura, se usaron 137.5 hm. Por lo tanto, tenemos que, en total, la grúa torre presenta una incidencia en el proceso equivalente a US\$ 2,750.00.

Finalmente se concluye que el ahorro neto es de US\$ 3,310.90.

4.4.6. Comparación de Costos entre el Sistema Tradicional Vs. Acero Dimensionado

A continuación se puede observar una comparación de costos entre el sistema tradicional de construcción y la utilización del Acero Dimensionado, para la cual se han tomado en cuenta las principales variables de la estructura de costos de la partida de acero:

Tabla 4.24: Comparación de Costos: Sistema Tradicional Vs. Acero Dimensionado

	Sistema Tradicional (Barras de 9m)	Servicio de Acero Dimensionado
Peso del Proyecto	127.6 Tm	126.3 Tm
Merma de Acero	7 %	0 %
Total Acero Comprado	136.5 Tm	126.3 Tm
Mano de Obra (Subcontrato – maestro herrero)	S/. 0.50 x kg	S/. 0.30 x kg
	S/. 500.00 x Tm	S/. 300.00 x Tm
	US\$ 190.84 x Tm	US\$ 114.50 x Tm
Precio de Barras	US\$ 1,300.00 x Tm	US\$ 1,300.00 x Tm
Costo ACEDIM Promedio	0	US\$ 110.00 x Tm
Total Costo Mano de Obra	US\$ 26,049.66	US\$ 14,461.35
Total Costo ACEDIM		US\$ 13,893.00
Costo Total Acero	US\$ 177,450.00	US\$ 164,190.00
Total	\$ 203,499.66	\$ 192,544.35

Ahorro: US\$ 10,955.31

Ahorro Aproximado: 5.38%

Precios al mes de Agosto de 2012. Tipo de cambio: 1 US\$ = S/. 2.62

Los valores de la merma y la mano de obra utilizados en la comparación, se estiman como promedio para un proyecto de edificación. El ahorro varía según la obra, pero al elegir Acero Dimensionado existe un ahorro garantizado.

4.5. ALGUNOS DETALLES A TENER EN CONSIDERACIÓN

Complementando lo visto anteriormente sobre el pre-armado de elementos estructurales horizontales (vigas), se pretende a continuación mostrar algunos

detalles que hay que tener presentes en caso se considere pertinente utilizar un sistema a base de pre-armados en obra.

Consideraciones Previas

- ✓ Primeramente, se debe contar en obra con un sitio adecuado para poder realizar el pre-armado.
- ✓ Similarmente, se debe contar con una grúa torre adecuada, con capacidad y alcance suficientes para cubrir las necesidades de traslado y colocación de elementos. Se considera además de que este equipo trabajará 8.5 horas por día.
- ✓ Se considera un refuerzo adicional el cual no estaba contemplado en el diseño original, es decir, es un desperdicio indirecto de acero. Este refuerzo se presentaba para poder unir las vigas. Similarmente, se debe de tener una especial consideración cuando las vigas toman sismo, ya que estas necesitan un sobre-empalme, para que tengan un desempeño adecuado ante un evento sísmico.

Ventajas del Pre-armado de Vigas

- ✓ Mayor productividad, dado que mediante el sistema a base de pre-armados se consiguió un tiempo total de trabajo menor que el presentado mediante el sistema de armado tradicional de vigas.
- ✓ Disminución de la variabilidad, ya que se elimina la dependencia existente entre la cuadrilla de aceros y la de encofrados. Es decir, éstas pueden trabajar de manera paralela, generando una disminución en el tiempo del proceso estudiado.
- ✓ Dado que se utiliza menos tiempo para realizar la misma cantidad de trabajo, aumenta la productividad de la cuadrilla.

- ✓ Disminución del riesgo de ocurrencia de accidentes de trabajo, ya que el obrero se encuentra trabajando en zonas seguras, dejando de lado el trabajo en alturas. Esto finalmente se traduce en un aumento de la tranquilidad del trabajador, y por lo tanto de su productividad.
- ✓ Los andamios o escaleras se utilizan en una menor cantidad de tiempo, debido a que sólo son utilizados para instalar el elemento pre-armado, por lo que dichos elementos pueden ser usados en otras actividades.

Desventajas del Pre-armado de Vigas

- ✓ Restricción de espacio, ya que se necesita de un espacio adecuado en obra para desarrollar el pre-armado de elementos.
- ✓ Restricción de la grúa torre, en obra se necesita que la grúa torre esté disponible para que pueda llevar el elemento pre-armado al lugar en cuestión, ya que ésta es usada para distintas actividades, tales como transporte de encofrados pre-armados, colocación de pre-losas, transporte del balde de concreto, traslado de materiales, entre otros.
- ✓ En el caso de las vigas que toman sismo, el empalme sugerido se incrementa en un porcentaje que ya depende del ingeniero estructural. Este incremento puede ser del 30%, 50% o 70% dependiendo de su criterio.
- ✓ Es por estas razones que, para las vigas, se empleó una cantidad adicional de acero (12% aproximadamente). Esta sobreutilización puede ser en cierto modo considerada como un desperdicio por sustitución, ya que se ha generado debido a que el proceso tradicional ha sido sustituido por este nuevo proceso.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio, partes que se originan al finalizar toda la investigación.

5.1 CONCLUSIONES

1. La elección del Sistema a Base de Pre-armados nos brinda una buena lista de ventajas, las cuales van desde lo productivo hasta la seguridad personal. Entre estas ventajas podemos mencionar: El aumento de la productividad, de 0.0291 HH/kg en el sistema tradicional de armado de vigas a 0.0196 HH/kg en el sistema de mejora (pre-armado de vigas), que en costos representan US\$ 18,565.60 y US\$ 12,504.70 respectivamente, generando un ahorro de US\$ 6,060.90 pero aún se debe restar US\$ 2,750.00 del costo de la grúa torre, lo que finalmente representa un ahorro neto de US\$ 3,310.90. La disminución de los plazos al emplear el sistema a base de pre-armados, lo que nos permitió cumplir con los plazos de ejecución tan cortos que presentaba el proyecto. El ahorro de horas hombre, de 3,713.12 HH en el sistema tradicional de armado de vigas a 2,500.94 HH en el sistema de mejora (pre-armado de vigas). Finalmente, la disminución del riesgo de ocurrencia de accidentes, dado que la elección del sistema a base de pre-armados reduce el número de obreros trabajando en alturas y también el tiempo de realización de los trabajos en altura, sumado a que es más seguro trabajar a nivel del piso.
2. En el capítulo IV se han descrito importantes lineamientos de mejora para el sistema a base de pre-armados mediante la metodología TRIZ. Entre éstos se puede mencionar el uso innovador de las grúas torre, no sólo en el clásico traslado de materiales, sino en el montaje de elementos prefabricados y de elementos pre-armados. Así como el uso del acero dimensionado, que es un sistema que incrementa la automatización y genera la menor participación humana, al ser la mano de obra una de las partidas con mayor variabilidad.

3. En lo económico, se puede apreciar que la utilización del acero dimensionado genera un ahorro de aproximadamente 5.38% del costo de la partida de acero, este ahorro puede variar entre el 5.0% – 7.0%, según las características de cada obra.
4. Se comprobó los resultados del método Delphi: Es imprescindible contar con una grúa torre para desarrollar el sistema estudiado, con una capacidad y un alcance suficiente para cubrir las necesidades de traslado y colocación de los elementos pre-armados. Entre los elementos de mayor peso identificados, se tiene que el acero pre-armado para vigas es de 0.65 Tn, mientras que el acero pre-armado de elementos verticales es de 1.14 Tn; aun así, ambos resultan siendo menores que el elemento más crítico de todo el conjunto de cargas, la pre-losa con 2.2 Tn, siendo éste el que establece la capacidad de carga para la grúa torre.
5. Dentro de los cálculos de productividad, descritos en el capítulo IV, se puede observar que luego de considerar las recomendaciones de la etapa de intervención, el aumento de la productividad para el trabajo de encofrado para fondo de viga es de 19.87%.
6. Desventajas del sistema a base de pre-armados:
 - ✓ Restricción de espacio, ya que se necesita de un sitio adecuado en obra para desarrollar el pre-armado de elementos.
 - ✓ Dependencia de la grúa torre, ya que se necesita que ésta se encuentre disponible para que pueda trasladar el elemento pre-armado al lugar requerido.
 - ✓ En el caso de las vigas que toman sismo, el empalme sugerido se incrementa en un porcentaje. Este incremento puede ser del 30%, 50% o 70% dependiendo del proyectista estructural.
7. Por lo tanto, ha quedado claro que la elección del sistema a base de pre-armados aumenta la productividad del sistema y mejora notablemente su calidad. Generando así, no sólo un cambio en la forma de trabajo, sino un cambio en la cultura de la construcción.

5.2 RECOMENDACIONES

1. La viga necesita refuerzos de determinadas longitudes. Al cortar las barras de 9 metros para obtener estos refuerzos, siempre se genera un desperdicio. Se recomienda minimizar este desperdicio mediante el uso de acero dimensionado.
2. Se debe pensar en una reingeniería en cuanto a los equipos utilizados, debido a que una grúa torre no se da abasto para las distintas cuadrillas que precinden de ésta, ni para los distintos frentes de trabajo que existen en el campo. Se recomienda el uso de por lo menos 2 grúas torre, debiéndose realizar una planificación de los trabajos constructivos para cada una de ellas, en aspectos tales como su cronograma y la asignación de trabajo que les corresponda a cada una.
3. Se recomienda mejorar la distribución del espacio en obra mediante un adecuado Layout Plan, organizando las distintas máquinas, elementos y materiales que se encontrarán distribuidos sobre el área de la obra.
4. Se puede seguir analizando los demás problemas que se mostraron en el estudio, de manera que la mitigación de éstos problemas se convierta en un círculo virtuoso, llevando así el sistema a base de pre-armados hacia un mejoramiento continuo en búsqueda del sistema ideal, concepto presente en la metodología TRIZ.
5. Se recomienda realizar un análisis estructural para las vigas pre-armadas, tal que permita definir el óptimo incremento del empalme (30%, 50% ó 70%), con el fin de reducir al máximo la cantidad adicional de acero. En el análisis estructural se podrían incluir ensayos a escala, estos pueden desarrollarse en las instalaciones del CISMID-UNI.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALTSHULLER, Genrich. *“La Creatividad como una Ciencia Exacta”*. New York, NY: Gordon & Breach, 1984.
2. BOTERO B., Luis F. *“Guía de Mejoramiento Continuo”*. Medellín, Colombia, 2004.
3. Constructora MCD S.A.C. Perú. *“El Boom de la Construcción”*. Principal > News. Lima, Perú, 2011.
4. DALKEY N., C. & HELMER, O. *“An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts”*. Management Science, Vol. 9, 1963.
5. GHIO CASTILLO, Virgilio. *“Guía para la Innovación Tecnológica en la Construcción”*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Chile, 2006.
6. GHIO CASTILLO, Virgilio. *“Productividad en Obras de Construcción: Diagnóstico, Crítica y Propuesta”*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Chile, 2001.
7. GONZALEZ, Vicente. *“Buffers de Programación: Una Estrategia Complementaria para Reducir la Variabilidad en los Procesos de Construcción”*. GEPUC. Chile, 2003.
8. Guía del PMBOOK®. *“Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos”*. Tercera Edición Project Management Institute. EEUU, 2004.
9. HARRINGTON, H. J. *“El Proceso de Mejoramiento: Cómo las Empresas Punteras Norteamericanas Mejoran la Calidad”*. Quality Press, Wisconsin. USA, 1991.
10. HOPP, Wallace; SPEARMAN, Mark. *“Factory Physics”*. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. Nueva York, EEUU, 2001.
11. HUERTA BERRIOS, Enrique. *“El Boom de la Construcción en el Perú”*. ECONOBLOGNET: Noticias, Artículos y Videos de Economía y Política del Perú y del Mundo. Perú, 2012.
12. LANDETA, Jon. *“El Método Delphi: Una Técnica de Previsión para la Incertidumbre”*. Editorial Ariel Practicum. Barcelona, España, 1999.
13. LILIENFELD, Robert. *“Teoría de Sistemas: Orígenes y Aplicaciones en Ciencias Sociales”*. Editorial Trillas. México, 1991.
14. LISTONE H., A. & TUROFF, M. *“The Delphi Method: Techniques and Applications”*. Massachusetts: Addison-Wesley. EEUU, 1975.

15. MERTENS, Leonard. *“La Medición de la Productividad como Referente Ente de la Formación-Capacitación”*. Boletín N° 143 Productividad y Formación. Montevideo, Uruguay, 1998.
16. NAVARRO, Javier. *“Mejora de la Productividad en Edificaciones mediante la Externalización de Procesos”*. Tesis Profesional UNI-FIC. Perú, 2010.
17. Portal AMARENGO. *“Industria de la Construcción en el Perú Vive un Boom”*. Arquitectura, Construcción, Urbanismo y Arte Peruano. Principal > Linkarqs de Amarengo. Lima, Perú, 2010.
18. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. *“Diccionario de la Lengua Española”*. 22^o Edición.
19. RÍOS SEGURA, Juan. *“Programación de Obras – Copias de Clase”*. Departamento Académico de Construcción UNI-FIC. Lima, Perú, 2009.
20. S.A. *“Productividad en la Industria de la Construcción Chilena”*. Revista BIT. Chile, 2001.
21. SERPELL BLEY, Alfredo. *“Administración de Operaciones de Construcción”*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Chile, 1993.
22. TOMMELEIN, Iris D. & WEISSENBERGER, Markus. *“More Just in Time: Location of Buffers in Structural Steel Supply and Construction Processes”*. Conferencia Anual Internacional del Grupo Lean Construction (IGLC), 1999.
23. TORRES FORMOSO, Carlos. *“Method for Waste Control in the Building Industry”*. Berkeley, California, Estados Unidos, 1999.
24. VARGAS SAAVEDRA, Teófilo. *“Uso del Método Delphi”*. Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (IIFIC-UNI). Lima, Perú, 2008.
25. VARGAS SAAVEDRA, Teófilo. *“De la Innovación con TRIZ”*. Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (IIFIC-UNI). Lima, Perú, 2009.
26. VON BERTALANFFY, Ludwing. *“Teoría General de Sistemas”*. Petrópolis, Vozes. 1976.

ANEXOS

- ANEXO 01:** Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales: Caso “Vigas Pre-armadas”
- ANEXO 02:** Respuestas en Encuestas de Pre-armado de Elementos Estructurales: Caso “Vigas Pre-armadas”
- ANEXO 03:** Cuadro de Control de la Productividad para Vigas
- ANEXO 04:** Planta – Ubicación de Vigas
- ANEXO 05:** Cuadro de Control de la Productividad en la Colocación del Encofrado para Fondo de Viga
- ANEXO 06:** Detalles del Empalme de las Vigas Pre-armadas
- ANEXO 07:** Vistas en 3D del Proyecto Universidad del Pacífico
- ANEXO 08:** Planeamiento y Programación del Proyecto Universidad del Pacífico
- ANEXO 09:** Detalles y Características del Gran Teatro Nacional
- ANEXO 10:** Clasificación de los Espacios del Gran Teatro Nacional
- ANEXO 11:** Detalles y Características del Proyecto Neo 10
- ANEXO 12:** Planos de Vigas Pre-armadas

ANEXO 01: Encuesta de Pre-armado de Elementos Estructurales: Caso "Vigas Pre-armadas"

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Lo que nosotros buscamos es REDUCIR LA VARIABILIDAD de la Línea de Producción Principal (LPP), una manera de lograrlo es externalizando procesos mediante el Pre-armado de Elementos Estructurales.

Es en este contexto que se plantea la Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas como una Alternativa de Mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando así ayudar a reducir el tiempo de producción.

Responda las siguientes preguntas según su experiencia.

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del Pre-armado de Elementos le parecen atractivos?

<input type="checkbox"/>	Simplicidad
<input type="checkbox"/>	Facilidad de uso
<input type="checkbox"/>	Innovación tecnológica – nuevo sistema de armado de elementos
<input type="checkbox"/>	Eliminación de dependencia de cuadrillas
<input type="checkbox"/>	Aumento de la producción
<input type="checkbox"/>	Otro (por favor, especifique) <input type="text"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS

3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente".
¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

	5	4	3	2	1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traslape	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

3. INTENCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

4. Partiendo de la premisa de que el empleo de Vigas Pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las Vigas Pre-armadas?

- Lo emplearía en todo tipo de construcciones.
- Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos.
- Puede que lo emplee en construcciones de gran altura.
- No creo que lo emplee si no me lo ordenan.
- No lo emplearía.
- Otro (por favor, especifique)

ANEXO 02: Respuestas en Encuestas de Pre-armado de Elementos Estructurales: Caso "Vigas Pre-armadas"

Encuesta N° 1

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Lo que nosotros buscamos es REDUCIR LA VARIABILIDAD de la Línea de Producción Principal (LPP), una manera de lograrlo es externalizando procesos mediante el Pre-armado de Elementos Estructurales.

Es en este contexto que se plantea la Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas como una Alternativa de Mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando así ayudar a reducir el tiempo de producción.

Responda las siguientes preguntas según su experiencia.

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del Pre-armado de Elementos le parecen atractivos?

<input checked="" type="checkbox"/> Simplicidad
<input checked="" type="checkbox"/> Facilidad de uso
<input type="checkbox"/> Innovación tecnológica – nuevo sistema de armado de elementos
<input checked="" type="checkbox"/> Eliminación de dependencia de cuadrillas
<input checked="" type="checkbox"/> Aumento de la producción
<input checked="" type="checkbox"/> Otro (por favor, especifique) <input type="text"/>



ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS

3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente".
¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

	5	4	3	2	1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traslape	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

3. INTENCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

4. Partiendo de la premisa de que el empleo de Vigas Pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las Vigas Pre-armadas?

- Lo emplearía en todo tipo de construcciones.
- Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos.
- Puede que lo emplee en construcciones de gran altura.
- No creo que lo emplee si no me lo ordenan.
- No lo emplearía.
- Otro (por favor, especifique)

Encuesta N° 2

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Lo que nosotros buscamos es REDUCIR LA VARIABILIDAD de la Línea de Producción Principal (LPP), una manera de lograrlo es externalizando procesos mediante el Pre-armado de Elementos Estructurales.

Es en este contexto que se plantea la Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas como una Alternativa de Mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando así ayudar a reducir el tiempo de producción.

Responda las siguientes preguntas según su experiencia.

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del Pre-armado de Elementos le parecen atractivos?

<input type="checkbox"/> Simplicidad
<input type="checkbox"/> Facilidad de uso
<input checked="" type="checkbox"/> Innovación tecnológica – nuevo sistema de armado de elementos
<input checked="" type="checkbox"/> Eliminación de dependencia de cuadrillas
<input checked="" type="checkbox"/> Aumento de la producción
<input type="checkbox"/> Otro (por favor, especifique) <input type="text"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS

3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente".
¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

	5	4	3	2	1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traslape	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

3. INTENCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

4. Partiendo de la premisa de que el empleo de Vigas Pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las Vigas Pre-armadas?

- Lo emplearía en todo tipo de construcciones.
- Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos.
- Puede que lo emplee en construcciones de gran altura.
- No creo que lo emplee si no me lo ordenan.
- No lo emplearía.
- Otro (por favor, especifique)

Encuesta N° 3

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Lo que nosotros buscamos es REDUCIR LA VARIABILIDAD de la Línea de Producción Principal (LPP), una manera de lograrlo es externalizando procesos mediante el Pre-armado de Elementos Estructurales.

Es en este contexto que se plantea la Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas como una Alternativa de Mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando así ayudar a reducir el tiempo de producción.

Responda las siguientes preguntas según su experiencia.

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del Pre-armado de Elementos le parecen atractivos?

<input checked="" type="checkbox"/> Simplicidad
<input type="checkbox"/> Facilidad de uso
<input checked="" type="checkbox"/> Innovación tecnológica – nuevo sistema de armado de elementos
<input type="checkbox"/> Eliminación de dependencia de cuadrillas
<input checked="" type="checkbox"/> Aumento de la producción
<input type="checkbox"/> Otro (por favor, especifique) <input type="text"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS

3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente".
¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

	5	4	3	2	1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traslape	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

3. INTENCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

4. Partiendo de la premisa de que el empleo de Vigas Pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las Vigas Pre-armadas?

- Lo emplearía en todo tipo de construcciones.
- Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos.
- Puede que lo emplee en construcciones de gran altura.
- No creo que lo emplee si no me lo ordenan.
- No lo emplearía.
- Otro (por favor, especifique)

Encuesta N° 4

GyM

ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Lo que nosotros buscamos es REDUCIR LA VARIABILIDAD de la Línea de Producción Principal (LPP), una manera de lograrlo es externalizando procesos mediante el Pre-armado de Elementos Estructurales.

Es en este contexto que se plantea la Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas como una Alternativa de Mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando así ayudar a reducir el tiempo de producción.

Responda las siguientes preguntas según su experiencia.

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del Pre-armado de Elementos le parecen atractivos?

<input checked="" type="checkbox"/> Simplicidad
<input checked="" type="checkbox"/> Facilidad de uso
<input checked="" type="checkbox"/> Innovación tecnológica – nuevo sistema de armado de elementos
<input checked="" type="checkbox"/> Eliminación de dependencia de cuadrillas
<input checked="" type="checkbox"/> Aumento de la producción
<input checked="" type="checkbox"/> Otro (por favor, especifique) <input type="text"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS

3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente".
¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

	5	4	3	2	1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traslape	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

3. INTENCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

4. Partiendo de la premisa de que el empleo de Vigas Pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las Vigas Pre-armadas?

- Lo emplearía en todo tipo de construcciones.
- Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos.
- Puede que lo emplee en construcciones de gran altura.
- No creo que lo emplee si no me lo ordenan.
- No lo emplearía.
- Otro (por favor, especifique)

Encuesta N° 5

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Lo que nosotros buscamos es REDUCIR LA VARIABILIDAD de la Línea de Producción Principal (LPP), una manera de lograrlo es externalizando procesos mediante el Pre-armado de Elementos Estructurales.

Es en este contexto que se plantea la Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas como una Alternativa de Mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando así ayudar a reducir el tiempo de producción.

Responda las siguientes preguntas según su experiencia.

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del Pre-armado de Elementos le parecen atractivos?

<input checked="" type="checkbox"/> Simplicidad
<input checked="" type="checkbox"/> Facilidad de uso
<input type="checkbox"/> Innovación tecnológica – nuevo sistema de armado de elementos
<input type="checkbox"/> Eliminación de dependencia de cuadrillas
<input checked="" type="checkbox"/> Aumento de la producción
<input type="checkbox"/> Otro (por favor, especifique) <input type="text"/>



ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS

3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente".
¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

	5	4	3	2	1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traslape	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

3. INTENCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

4. Partiendo de la premisa de que el empleo de Vigas Pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las Vigas Pre-armadas?

- Lo emplearía en todo tipo de construcciones.
- Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos.
- Puede que lo emplee en construcciones de gran altura.
- No creo que lo emplee si no me lo ordenan.
- No lo emplearía.
- Otro (por favor, especifique)

Encuesta N° 7

GyM

ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Lo que nosotros buscamos es REDUCIR LA VARIABILIDAD de la Línea de Producción Principal (LPP), una manera de lograrlo es externalizando procesos mediante el Pre-armado de Elementos Estructurales.

Es en este contexto que se plantea la Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas como una Alternativa de Mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando así ayudar a reducir el tiempo de producción.

Responda las siguientes preguntas según su experiencia.

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del Pre-armado de Elementos le parecen atractivos?

<input checked="" type="checkbox"/> Simplicidad
<input type="checkbox"/> Facilidad de uso
<input checked="" type="checkbox"/> Innovación tecnológica – nuevo sistema de armado de elementos
<input checked="" type="checkbox"/> Eliminación de dependencia de cuadrillas
<input checked="" type="checkbox"/> Aumento de la producción
<input type="checkbox"/> Otro (por favor, especifique) <input type="text"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS

3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente".
¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

	5	4	3	2	1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traslape	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO "VIGAS PRE-ARMADAS"

3. INTENCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

4. Partiendo de la premisa de que el empleo de Vigas Pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las Vigas Pre-armadas?

- Lo emplearía en todo tipo de construcciones.
- Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos.
- Puede que lo emplee en construcciones de gran altura.
- No creo que lo emplee si no me lo ordenan.
- No lo emplearía.
- Otro (por favor, especifique)

Encuesta N° 8

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Lo que nosotros buscamos es REDUCIR LA VARIABILIDAD de la Línea de Producción Principal (LPP), una manera de lograrlo es externalizando procesos mediante el Pre-armado de Elementos Estructurales.

Es en este contexto que se plantea la Elaboración y Colocación de Vigas Pre-armadas como una Alternativa de Mejora frente al sistema tradicional de armado de vigas, buscando así ayudar a reducir el tiempo de producción.

Responda las siguientes preguntas según su experiencia.

1. En una escala de valores del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y el valor 1 es "nada interesante".

	5	4	3	2	1
¿Cuán INTERESANTE es para Ud. la Elaboración y Colocación de Elementos Pre-armados?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos del Pre-armado de Elementos le parecen atractivos?

<input checked="" type="checkbox"/> Simplicidad
<input type="checkbox"/> Facilidad de uso
<input checked="" type="checkbox"/> Innovación tecnológica – nuevo sistema de armado de elementos
<input checked="" type="checkbox"/> Eliminación de dependencia de cuadrillas
<input checked="" type="checkbox"/> Aumento de la producción
<input type="checkbox"/> Otro (por favor, especifique) <input type="text"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN VIGAS PRE-ARMADAS

3. En una escala de valores del 1 al 5, dónde el 5 es "muy incidente" y el valor 1 es "nada incidente".
¿Cómo calificaría Ud. los siguientes procesos o variables en el Pre-armado de Vigas?

	5	4	3	2	1
Costo (lo medimos mediante el tiempo y rendimiento)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiempo (lo medimos mediante los plazos)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la elaboración del elemento pre-armado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rendimiento en la colocación del elemento pre-armado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dificultad en procesos constructivos o precisión en la ingeniería	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habilitado de acero	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Almacenamiento del material	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ubicación de caballetes	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de vigas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dependencia de la grúa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Densidad en los nudos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traslape	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización de la MO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

GyM ENCUESTA DE PRE-ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: CASO
"VIGAS PRE-ARMADAS"

3. INTENCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

4. Partiendo de la premisa de que el empleo de Vigas Pre-armadas genera más beneficios que el armado tradicional de vigas. ¿Qué posibilidad hay de que Ud. emplee las Vigas Pre-armadas?

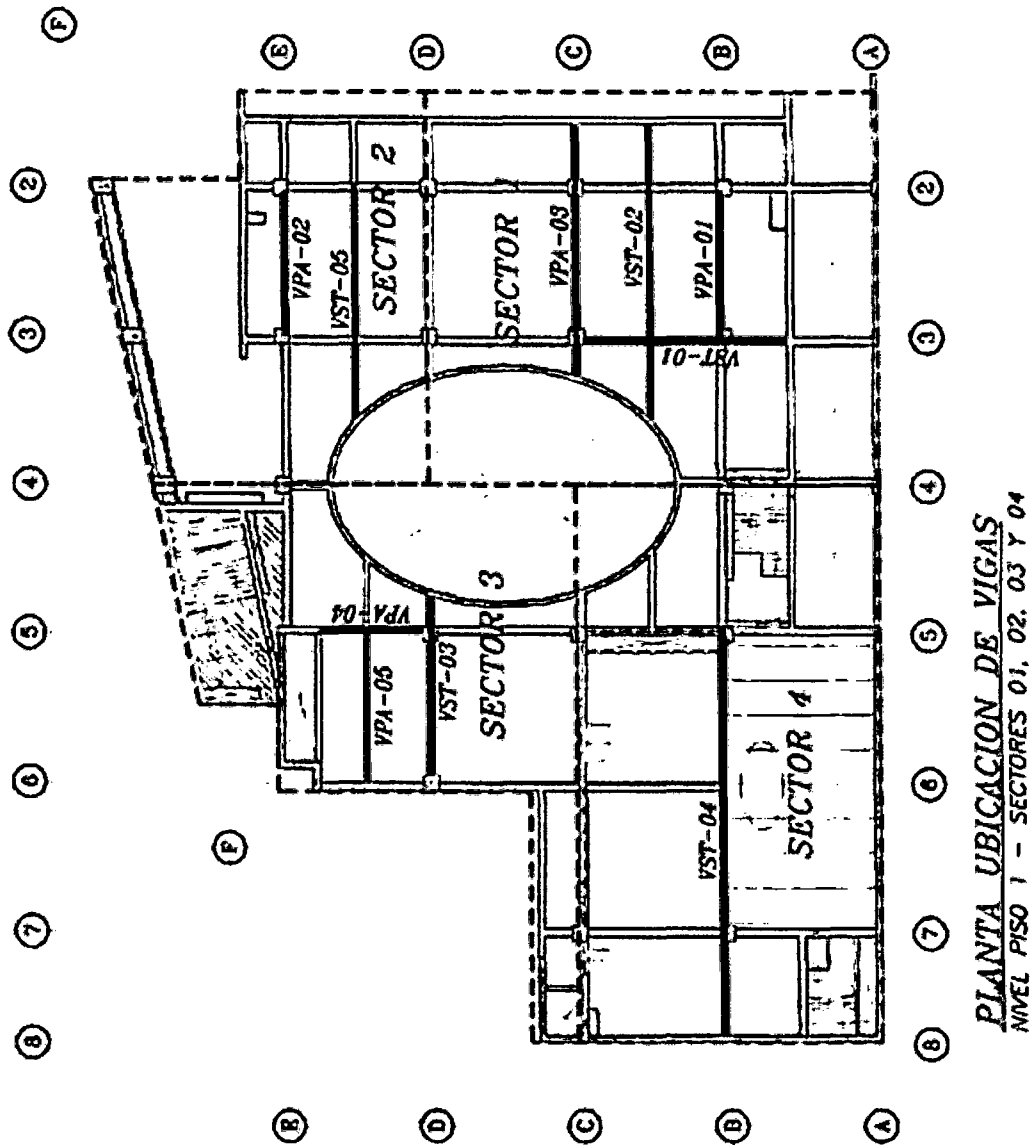
- Lo emplearía en todo tipo de construcciones.
- Lo emplearía sólo en construcciones que presenten una gran cantidad de elementos típicos.
- Puede que lo emplee en construcciones de gran altura.
- No creo que lo emplee si no me lo ordenan.
- No lo emplearía.
- Otro (por favor, especifique)

ANEXO 03: Cuadro de Control de la Productividad para Vigas

Cuadro de Control de la Productividad en el Sistema Tradicional										
Acción	VST - 01		VST - 02		VST - 03		VST - 04		VST - 05	
	Nº Obre	T (min)	Nº Obre	T (min)	Nº Obre	T (min)	Nº Obre	T (min)	Nº Obre	T (min)
Búsqueda y Ubicación	2	8	2	12	2	24	1	7	1	3
Armado del Elemento	3	130	3	131	2	65	3	184	2	169
Tiempo Ciclo (min)	406		417		178		559		341	
Tiempo Ciclo (HH)	6.77		6.95		2.97		9.32		5.68	
Peso de Acero (kg)	220.82		252.34		99.45		322.80		200.33	
Ratio de Productividad (HH/kg)	0.0307		0.0275		0.0299		0.0289		0.0284	
Promedio del Sistema Tradicional:									0.0291	

Cuadro de Control de la Productividad en el Sistema a Base de Pre-armados										
Acción	VPA - 01		VPA - 02		VPA - 03		VPA - 04		VPA - 05	
	Nº Obre	T (min)	Nº Obre	T (min)	Nº Obre	T (min)	Nº Obre	T (min)	Nº Obre	T (min)
Búsqueda y Ubicación	2	6	2	5	2	7	1	5	1	3
Pre-armado del Elemento	2	32	2	27	2	68	2	25	2	22
Preparación del Elemento	1	2.5	1	2.5	1	15	1	4	1	4
Instalación del Elemento	2	12	2	10	2	32	2	4	2	3
Armado del Elemento	2	6	2	5	2	7	2	6	2	5
Tiempo Ciclo (min)	114.5		96.5		243		79		67	
Tiempo Ciclo (HH)	1.91		1.61		4.05		1.32		1.12	
Peso de Acero (kg)	91.26		90.30		209.98		66.20		55.35	
Ratio de Productividad (HH/kg)	0.0209		0.0178		0.0193		0.0199		0.0202	
Promedio del Sistema a Base de Pre-armados:									0.0196	

ANEXO 04: Planta – Ubicación de Vigas



Plano de Ubicación de las Vigas

Nota:

- VST: Vigas del Sistema Tradicional
- VPA: Vigas Pre-Armadas

ANEXO 05: Cuadro de Control de la Productividad en la Colocación del Encofrado para Fondo de Viga

Productividad en la Colocación del Encofrado para Fondo de Viga			
Área de Encofrado = 3.2mx0.5m			
Acción	Medición 1 T (seg)	Medición 2 T (seg)	Medición 3 T (seg)
Enganche	120	120	--
Elevación	15	15	--
Movimiento de Carro	60	60	--
Giro de Pluma	30	30	--
Descenso	15	15	--
Colocación	185	180	--
Desenganche	60	60	--
Tiempo Ciclo (seg)	485	480	--
Tiempo Ciclo (min)	8.08	8.00	--
Tiempo Ciclo (hrs)	0.135	0.133	--
Área de Encofrado (m²)	1.60	1.60	--
Productividad (m²/hm)	11.85	12.03	--
Promedio de la Productividad:			11.94

Productividad en la Colocación del Encofrado para Fondo de Viga			
con Recomendaciones – Área de Encofrado = 3.2mx0.5m			
Acción	Medición 1 T (seg)	Medición 2 T (seg)	Medición 3 T (seg)
Enganche	90	90	90
Elevación	15	15	15
Movimiento de Carro	60	55	60
Giro de Pluma	30	30	30
Descenso	15	15	15
Colocación	120	115	120
Desenganche	60	60	60
Tiempo Ciclo (seg)	390	380	390
Tiempo Ciclo (min)	6.50	6.33	6.50
Tiempo Ciclo (hrs)	0.108	0.106	0.108
Área de Encofrado (m²)	1.60	1.60	1.60
Productividad (m²/hm)	14.81	15.09	14.81
Promedio de la Productividad Con Recomendaciones:			14.90

ANEXO 06: Detalles del Empalme de las Vigas Pre-armadas

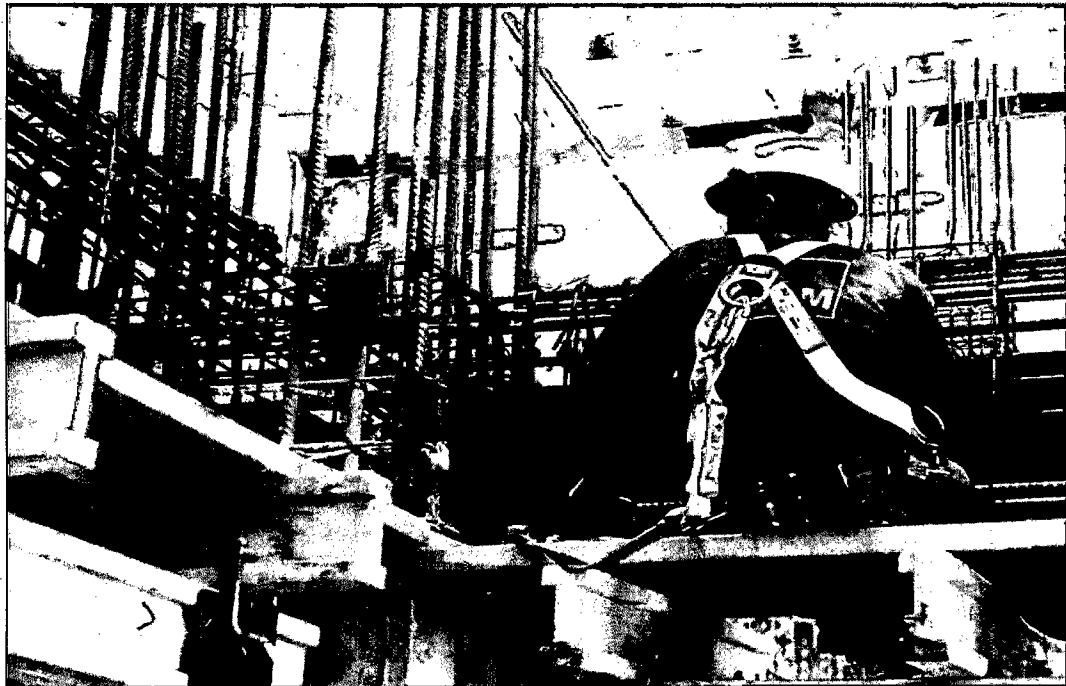
Antes del Empalme

(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)



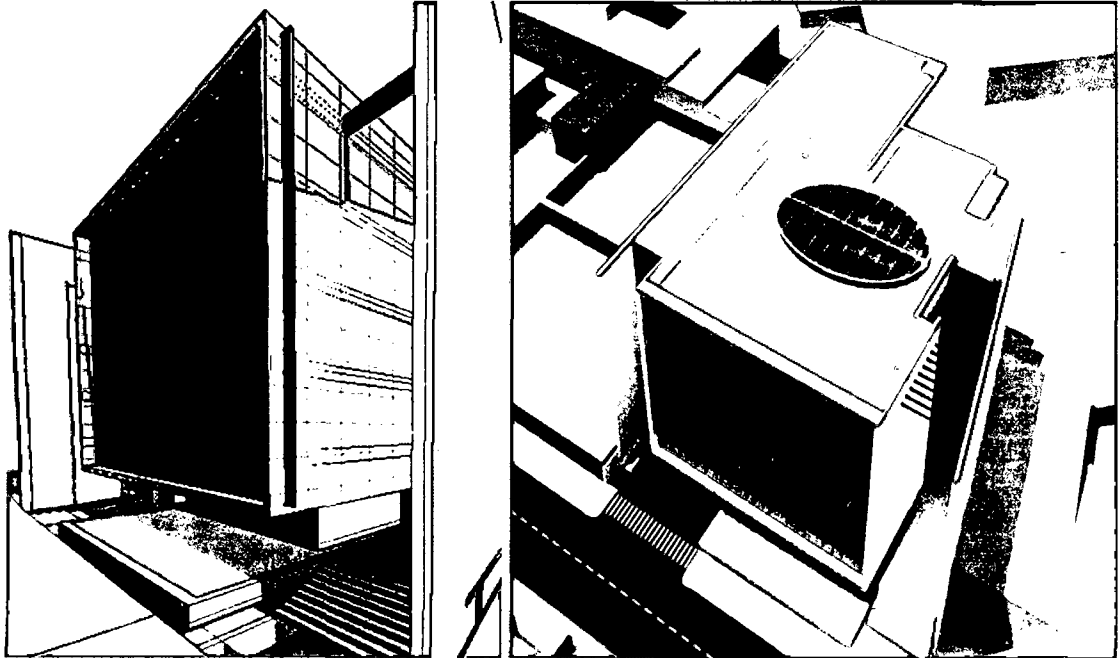
Después del Empalme

(Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.)

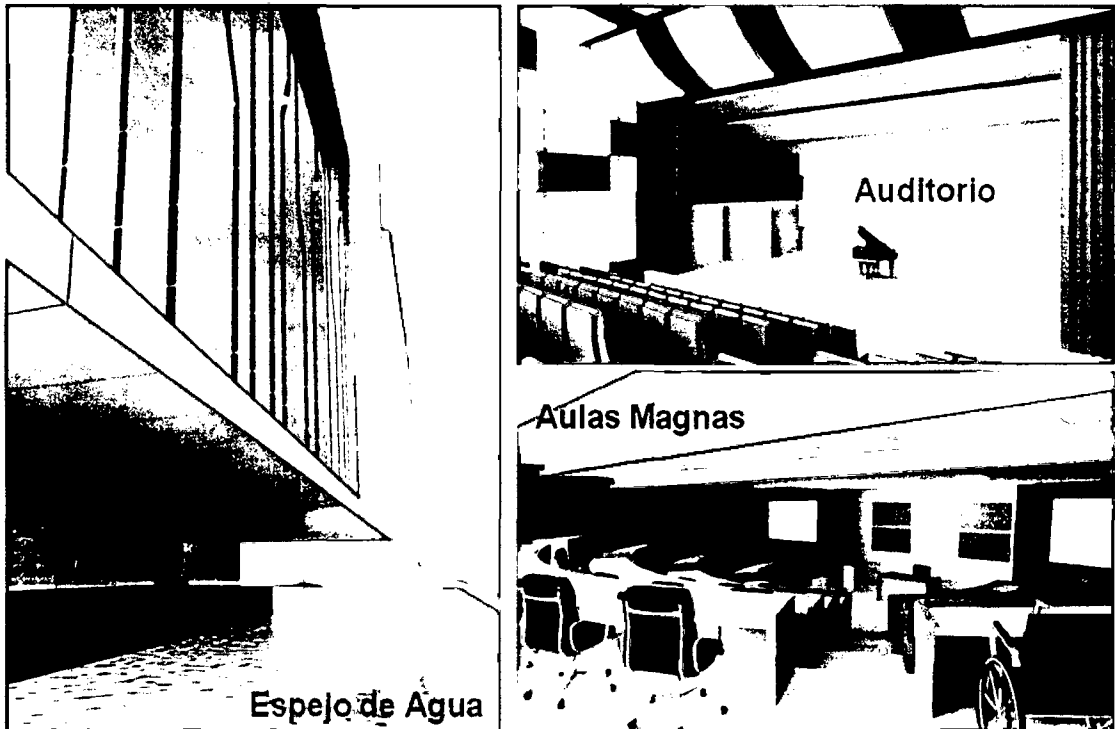


ANEXO 07: Vistas en 3D del Proyecto Universidad del Pacífico

Perspectiva del Proyecto Universidad del Pacífico

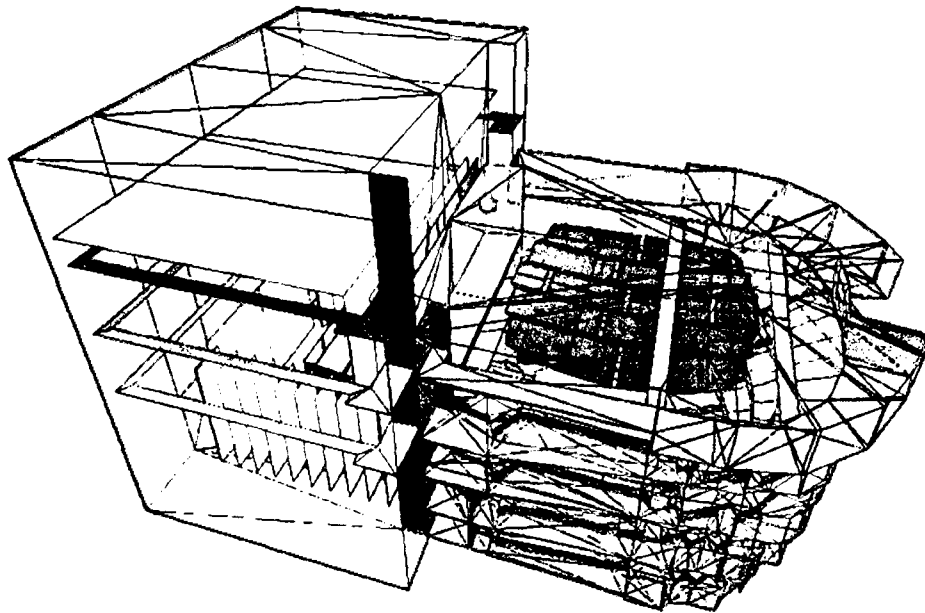


Detalles del Espejo de Agua, Auditorio y Aulas Magnas

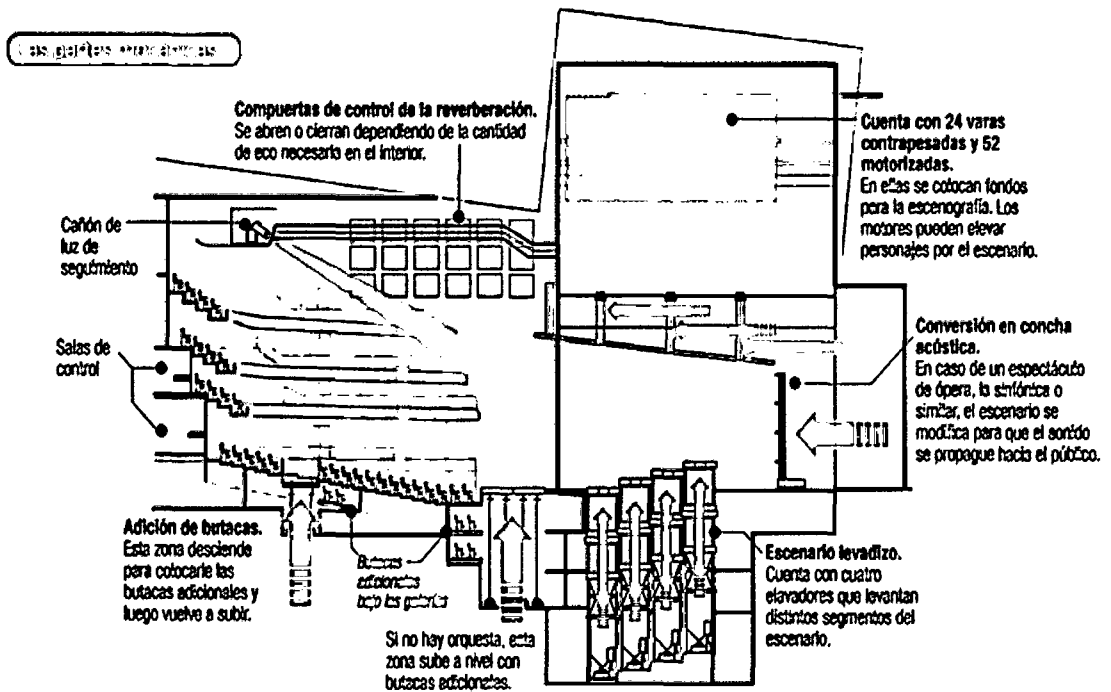


ANEXO 09: Detalles y Características del Gran Teatro Nacional

Modelo Computacional para el Análisis Acústico

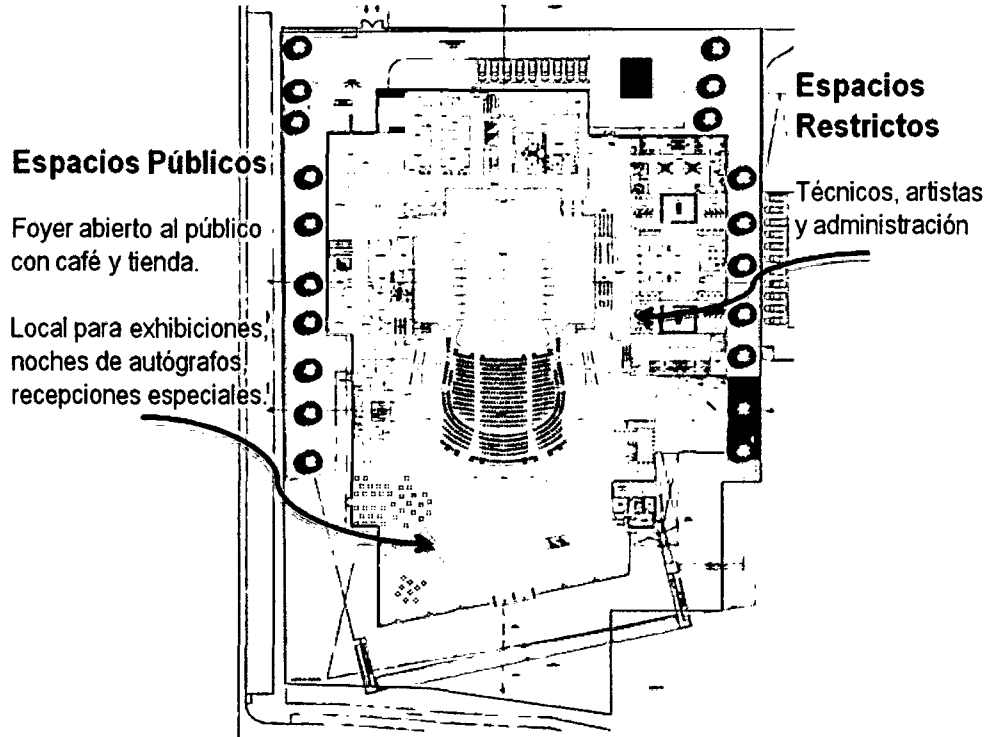


Detalles de las Partes Mecánicas

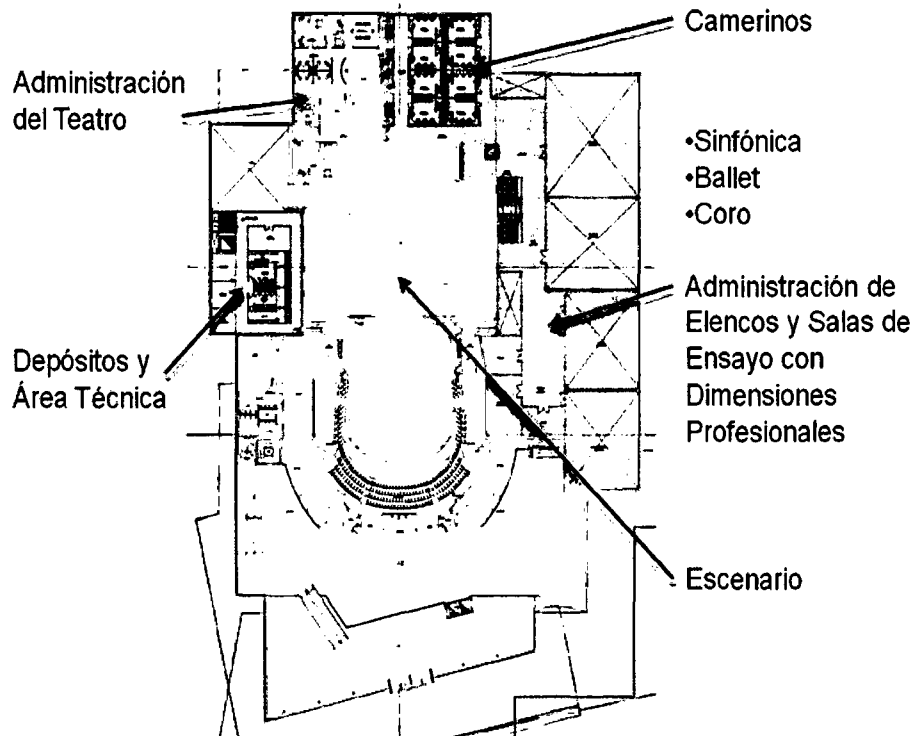


ANEXO 10: Clasificación de los Espacios del Gran Teatro Nacional

Clasificación de Espacios en General

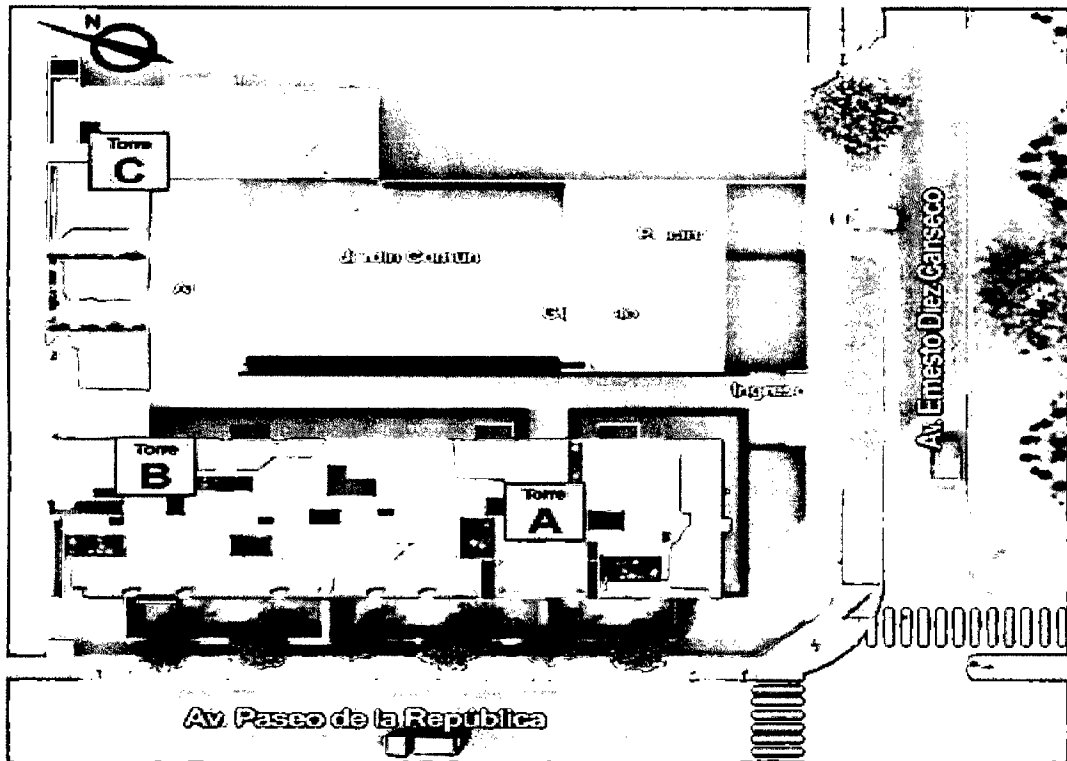


Clasificación de Espacios Restrictos



ANEXO 11: Detalles y Características del Proyecto Neo 10

Ubicación de las Tres Torres y de las Áreas Comunes



Vista de las Dos Grúas Torre

