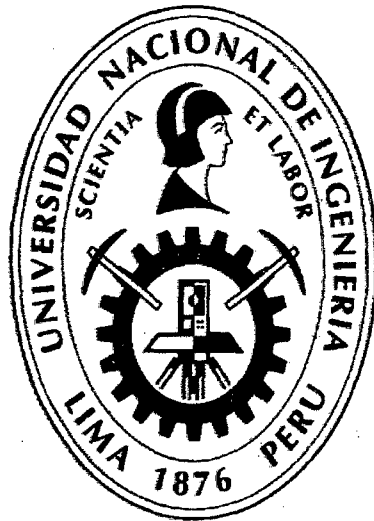


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD DE DOS GRÚAS  
TORRE EN UN PROYECTO CONSTRUCTIVO**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**JHONNY EDUARDO MERCADO RAPRE**

**Lima - Perú**

**2011**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

## **DEDICATORIA**

A Dios por regalarme la vida, mantenerme con salud y darme la oportunidad de seguir desarrollándome en todos los aspectos de mi vida.

A mis padres, Job e Hilda por su apoyo invaluable a lo largo de toda mi formación universitaria y profesional, quienes me entregaron todo su respaldo para conseguir este objetivo tan importante. Además por sus sabios consejos que hicieron posible el logro de esta tesis, ya que respaldaron el desarrollo de la misma. A mis hermanos Manuel y Estefani, por sus acertados comentarios para el logro de esta meta; a Gina Rivera Cueva por las buenas observaciones en la parte de la fundamentación del porqué de esta tesis.

Al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI (IIFIC-UNI) por todo el apoyo brindado para el logro de este objetivo, en especial al Dr. Teófilo Vargas Saavedra por su asesoría idónea y su labor desinteresada en beneficio de la comunidad universitaria. Asimismo a los ingenieros que hicieron posible este convenio, al Ing. Luis Diaz Imiela-Gentimur y al Ing. Edward Santa María por todo el apoyo.

A mi asesor, el Dr. Juan Ríos Segura; al Ing. Wilfredo Ulloa Velásquez y a la Ing. Heddy Jiménez Yabar por sus excelentes observaciones para la mejora de esta tesis.

**Jhonny Eduardo Mercado Rapre**

## ÍNDICE

RESUMEN	viii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
INTRODUCCIÓN	xvii
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES</b>	<b>1</b>
1.1 CONSTRUCCIÓN COTIDIANA A BASE DE MANO DE OBRA	1
1.2 DESVENTAJAS DE LA MANO DE OBRA PARA TRABAJOS DIFÍCILES	2
1.3 ALTERNATIVA DE USO DE EQUIPOS EN TRABAJOS DIFÍCILES	3
1.4 FILOSOFÍA PROPICIADA POR LOS JAPONESES: EL ESTILO TOYOTA	4
1.4.1 Toyota: La gestión japonesa de la excelencia	4
1.4.2 La cultura organizacional Toyota	5
1.4.3 Lo aprendido en los últimos años	8
1.4.4 Los principios del estilo Toyota	9
1.1 ORIGEN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION	11
1.5.1 Orígenes	12
1.5.2 Características principales de la construcción	13
1.5.3 Lean Construction: Definición y principios	14
1.5.4 Lean Construction contra la construcción tradicional	15
1.5.5 Desperdicios en la industria de la construcción	16
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	<b>17</b>
2.1 GRÚAS TORRE	17
2.2 MOTIVOS DEL ORIGEN DE LAS GRÚAS TORRE	17
2.3 DEFINICIÓN Y FUNCIÓN DE UNA GRÚA TORRE	18

2.4	PARTES DE UNA GRÚA TORRE	19
2.4.1	Pluma	19
2.4.2	Contra pluma	20
2.4.3	Lastre	21
2.4.4	Contrapeso	21
2.4.5	Mástil	22
2.4.6	Carro	23
2.4.7	Cables y gancho	23
2.4.8	Cables de acero	24
2.4.9	Núcleo o alma	24
2.4.9.1	<i>Torones</i>	25
2.4.9.2	<i>Alambres</i>	25
2.5	CLASIFICACIÓN	26
2.5.1	Por la forma de giro	26
2.5.1.1	<i>De acuerdo a su giro basal</i>	26
2.5.1.2	<i>De acuerdo a su giro superior</i>	26
2.5.2	Por la forma de montaje	27
2.5.2.1	<i>Grúa automontable</i>	27
2.5.2.2	<i>Grúa torre</i>	27
2.5.2.3	<i>Grúa torre automontable</i>	28
2.5.3	Por la forma de apoyo	29
2.5.3.1	<i>Grúa torre deslizante</i>	29
2.5.3.2	<i>Grúa torre fija</i>	30
2.5.3.3	<i>Grúa torre trepadora</i>	31
2.5.3.4	<i>Grúa torre arriostrada</i>	32
2.5.3.5	<i>Grúa torre sobre camión</i>	32
2.5.4	Por la forma de la pluma	32
2.5.4.1	<i>Grúa torre de pluma horizontal</i>	32
2.5.4.2	<i>Grúa torre de pluma articulada</i>	33
2.5.4.3	<i>Grúa torre de pluma abatible</i>	34
2.5.4.4	<i>Grúa ciudad o City Crane</i>	34

2.6	CARTA BALANCE – HERRAMIENTA PARA EL CONTROL DE TRABAJO	35
2.6.1	Conceptos previos	35
2.6.1.1	<i>Trabajo productivo (TP)</i>	36
2.6.1.2	<i>Trabajo contributivo (TC)</i>	36
2.6.1.3	<i>Trabajo no contributivo (TNC)</i>	36
2.6.2	Objetivo de la carta balance	36
2.6.3	Consideraciones para la carta balance	38
2.6.4	Procedimiento para construir una carta balance	38
<b>CAPÍTULO III: PROYECTO CONSTRUCTIVO ENFOCADO EN EL USO DE EQUIPOS</b>		<b>40</b>
3.1	NECESIDAD DE UN PLANEAMIENTO ENFOCADO EN EL USO DE EQUIPOS	40
3.1.1	Experiencias del crecimiento de la construcción en otros países	41
3.1.2	Consecuencias del crecimiento en la construcción	41
3.1.3	Nuevo perfil del proyecto	42
3.1.4	Soluciones para enfrentar el nuevo perfil del proyecto	43
3.2	ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS ACTUALES EN PERÚ	45
3.2.1	Tipos de equipos en obras de Edificaciones en Perú	45
3.2.2.1	<i>Grúas Móviles</i>	46
3.2.2.2	<i>Telescópico (Telehandler) y Mini telescópico (Mini telehandler)</i>	46
3.2.2.3	<i>Grúas Torre MC 115 y MC85</i>	48
3.2.2.4	<i>Faja transportadora</i>	49
3.2.2.5	<i>Elevador</i>	50
3.2.2.6	<i>Brazo Hormigonador</i>	51
3.2.2.7	<i>Cajas Ecológicas</i>	52
3.2.2	Disponibilidad en el mercado de Grúas Torre	52
3.2.3	Ventajas del uso de equipos	53
3.3	OPORTUNIDADES DE APLICACIÓN DE NUEVOS SISTEMAS EN EDIFICACIONES	54
3.3.1	Sistema de construcción con tecnologías de información BIM	54

3.3.1.1	<i>Realidad de la aplicación de tecnología BIM en E.U.A.</i>	54
3.3.1.2	<i>Aplicación BIM en el Perú</i>	55
3.3.1.3	<i>Tecnologías de información BIM para producción</i>	56
3.3.2	Sistema de construcción enfocado en el uso de equipos	56
3.3.2.1	<i>Realidad de la aplicación del uso de equipos en otros países</i>	57
3.3.2.2	<i>Aplicación del uso de equipos para construcción en el Perú</i>	58
3.4	PLANEAMIENTO ENFOCADO EN EL USO DE EQUIPOS: CASO UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO	58
3.4.1	Datos del Proyecto Universidad del Pacífico	58
3.4.1.1	<i>Generalidades del proyecto</i>	58
3.4.1.2	<i>Alcance del proyecto</i>	60
3.4.1.3	<i>Factores internos</i>	60
3.4.1.4	<i>Factores externos</i>	60
3.4.1.5	<i>Factores claves de éxito</i>	61
3.4.1.6	<i>Estrategia contractual</i>	61
3.4.2	Elección de los tipos de Grúas Torre	62
3.4.3	Equipos de izaje para periodos de pre y post Grúa Torre	64
3.4.4	Excavación profunda 7 sótanos	64
3.4.4.1	<i>Equipos utilizados en esta etapa</i>	64
3.4.4.2	<i>Beneficios del uso de equipos</i>	65
3.4.4.3	<i>Desarrollo de actividades con equipos para esta fase</i>	65
3.4.5	Estructura 12 niveles	66
3.4.5.1	<i>Equipos utilizados en esta etapa</i>	66
3.4.5.2	<i>Beneficios del uso de equipos</i>	67
3.4.5.3	<i>Desarrollo de actividades con equipos para esta fase</i>	67
<b>CAPÍTULO IV: PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES CON DOS GRÚAS TORRE</b>		<b>69</b>
4.1	USO DE HERRAMIENTAS BIM EN LA PLANIFICACIÓN	69
4.2	ELABORACIÓN DE LAYOUTS	71
4.2.1	Layout para los trabajos constructivos	72
4.2.2	Layout para los trabajos provisionales	72
4.2.3	Layout para el montaje y desmontaje	73
4.2.4	Layout para la seguridad	74

4.3	PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS CONSTRUCTIVOS	74
4.4.1	Distribución de sectores para el trabajo	74
4.4.2	Cronograma de trabajos de las Grúas Torre	78
4.4.3	Identificación de elementos de mayor peso	81
4.4.4	Asignaciones de trabajo	82
4.4	PLANIFICACIÓN DEL MONTAJE Y DESMONTAJE	84
4.3.1	Criterio de ubicación para el montaje de la Grúa MC 115	84
4.3.2	Criterio de ubicación para el montaje de la Grúa MC 85	85
4.3.3	Criterio de altura de grúas	86
4.3.4	Telescopaje de grúas	87
4.3.5	Desfase de altura entre plumas de grúas	90
4.3.6	Desmontaje	90
4.4.6.1	<i>Desmontaje de grúa torre MC 85</i>	91
4.4.6.2	<i>Desmontaje de grúa torre MC 115</i>	94
4.5	PLANIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD	96
4.2.1	Emplazamiento de la Grúa Torre, distancia de seguridad	96
4.2.2	Funcionamiento de la Grúa Torre	98
4.2.2.1	<i>Antes de iniciar el funcionamiento</i>	98
4.2.2.2	<i>Durante el funcionamiento</i>	98
4.2.3	Dispositivos de seguridad	99
4.2.3.1	<i>Limitador de par máximo o de momento</i>	100
4.2.3.2	<i>Limitador de carga máxima</i>	101
4.2.3.3	<i>Limitadores en recorrido en altura del gancho</i>	101
4.2.3.4	<i>Limitador de translación del carro</i>	102
4.2.3.5	<i>Limitador del número de giros de la Grúa Torre</i>	102
4.2.3.6	<i>Indicadores de carga y alcance</i>	103
4.2.4	Operador de la Grúa Torre	103
4.2.4.1	<i>Recomendaciones</i>	103
4.2.4.2	<i>Verificaciones diarias</i>	103
4.2.4.3	<i>Verificaciones semanales</i>	104
4.2.4.4	<i>Prohibiciones</i>	104
4.2.5	Operaciones de izaje de cargas	107
4.2.6	Equipo de protección personal y colectivo	110

<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD DE DOS GRÚAS TORRE</b>	<b>111</b>
5.1 IDENTIFICACIÓN	111
5.1.1 Actividades de producción	113
5.1.1.1 <i>Proceso de construcción de columnas</i>	113
5.1.1.2 <i>Proceso de construcción de vigas</i>	118
5.1.1.3 <i>Proceso de construcción de losas</i>	126
5.1.1.4 <i>Proceso de construcción de placas</i>	129
5.1.1.5 <i>Proceso de construcción de otro tipo de elementos</i>	128
5.1.2 Actividades provisionales	130
5.1.2.1 <i>Traslado de cajas ecológicas</i>	130
5.1.2.2 <i>Traslado de baños ecológicos</i>	135
5.1.2.3 <i>Traslado de maquinaria pequeña</i>	135
5.1.2.4 <i>Traslado de cabinas y muebles (mesas, asientos, lockers, etc.)</i>	136
5.1.3 Identificación de causas de problemas con Diagramas de Ishikawa	137
5.2 MEDICIÓN	138
5.2.1 Consideraciones del Muestreo a la Grúa Torre 1 (MC 115)	138
5.2.2 Consideraciones del Muestreo a la Grúa Torre 2 (MC 85)	143
5.2.3 Uso del Diagrama de Pareto	146
5.3 EVALUACIÓN	148
5.3.1 Trabajos productivos (TP)	149
5.3.2 Trabajos contributorios (TC)	150
5.3.3 Trabajos no contributorios (TNC)	151
5.3.4 Evaluación de trabajos con Cartas Balance	151
5.4 INTERVENCIÓN	157
5.4.1 Recomendación para evitar los tiempos de espera	157
5.4.2 Recomendación para evitar las interferencias de las dos grúas	158
5.4.3 Recomendación para evitar carga suspendida	159
5.4.4 Recomendación para evitar paras por falta de labores para las grúas	159
5.4.5 Recomendación en la demora de la colocación del acero para una columna pre-armada	160
5.4.6 Recomendación en la demora de la colocación de prelosa	160



5.4.7	Recomendación en la demora de la colocación de encofrado para fondo de viga	161
5.4.8	Recomendación para evitar la distracción del personal	161
5.5	CONSOLIDACIÓN	162
<b>CAPÍTULO VI: CÁLCULOS Y RESULTADOS</b>		<b>164</b>
6.1	RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN LA ETAPA DE IDENTIFICACIÓN	164
6.2	RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN LA ETAPA DE MEDICIÓN	166
6.3	RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN LA ETAPA DE EVALUACIÓN	168
6.4	CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LAS DOS GRÚAS TORRE	174
6.4.1	Productividad con problemas de visibilidad o maniobra	179
6.4.2	Productividad con problemas de interferencia de grúas	180
6.5	OTROS RESULTADOS DEBIDO A LA ETAPA DE INTERVENCIÓN	182
6.6	ESTIMADO DEL COSTO POR HORA DE ESTE TIPO DE GRÚAS TORRE PARA EL TRASLADO DE ACERO Y ENCOFRADO	184
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>186</b>
7.1	CONCLUSIONES	186
7.2	RECOMENDACIONES	188
BIBLIOGRAFÍA		191
ANEXOS		192

## RESUMEN

La obtención de mejores índices de productividad de equipos caros como las grúas torre, se ha convertido en estos tiempos un deseo añorado por todas las organizaciones inmersas en el mundo de la construcción, por lo que esta tesis señala una manera en la que se puede aumentar los índices de productividad que entregan los equipos denominados grúa torre.

La presente investigación se divide en siete capítulos, en los cuales se han considerado un complemento de temas alrededor de los equipos en estudio, se desarrollan tanto los conceptos a los cuales se recurre para poner a andar correctamente la productividad de dos grúas torre, la planificación seguida en el tipo de proyecto en el que se desarrolló el estudio, el uso de herramientas para la mejora de la productividad, tales como cartas balance, diagramas de Pareto, diagramas de Ishikawa y software BIM.

En el primer capítulo denominado "Aspectos generales" se muestra la visión cotidiana de la construcción nacional, referente a la relación del uso de equipos en las obras de construcción de edificaciones. Además se desarrolla la visión originada en países de vanguardia tales como Japón, con el éxito alcanzado por Toyota, y en Estados Unidos con el nacimiento de la filosofía del Lean Construction.

En el segundo capítulo denominado "Marco Teórico" se desarrolla los fundamentos teóricos de los equipos grúas torre, sus funciones, sus partes, los tipos de grúas torre que existen. Por otro lado se abarca el fundamento teórico de la herramienta utilizada en campo, la carta balance, con lo cual se tocan conceptos como la división de trabajo, en sus tres tipos, el trabajo productivo (TP), el trabajo contributorio (TC) y el trabajo no contributorio (TNC).

En el tercer capítulo llamado "Proyecto constructivo enfocado en el uso de equipos" se detallan aspectos que caracterizan al proyecto en estudio, es decir, se explica cual es el enfoque que se tiene en un proyecto en el cual se usan varios equipos.

En el cuarto capítulo nombrado "Planificación de actividades con dos grúas torre" se argumentan los procedimientos seguidos para que se lleguen a ejecutar las actividades por el mejor camino posible, de manera que conduzca a un correcto uso de ambas grúas torre.

En el quinto capítulo: "Análisis de la productividad de dos grúas torre", se desarrollan varios procedimientos, tanto en campo como en oficina, con la finalidad de que se realice un análisis de la productividad que se viene obteniendo con las labores de las dos grúas torre. Los procedimientos en los que se centra el estudio son la identificación, la medición, la evaluación, la intervención y la consolidación.

En el sexto capítulo: "Cálculos y resultados" se realizan todos los cálculos necesarios y se obtienen todos los resultados deseados, con los cuales se aprecian la productividad entregada por cada una de las grúas torre antes y después de la etapa de intervención. Adicionalmente se apartó en un capítulo a las conclusiones y recomendaciones, parte que se origina al finalizar toda la investigación.

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.1. Ratios de Perú del número de obreros debajo de una grúa torre de acuerdo al tipo de uso	3
Tabla N° 1.2. Costos de equipos y equivalencia con el número de trabajadores	4
Tabla N° 1.3. Comparación del plazo entre el sistema estándar con el sistema planteado	4
Tabla N° 2.1. Mediciones de cuadrilla para carta balance	39
Tabla N° 3.1. Valores de capacidad de carga para las grúas torre usadas	49
Tabla N° 3.2. Estadísticas del Número de Grúas Torre en el Perú	53
Tabla N° 3.3. Estadísticas del Número de Grúas Torre en algunos países del mundo	53
Tabla N° 4.1. Día típico – Grúa Torre 1	80
Tabla N° 4.2. Día típico - Grúa Torre 2	80
Tabla N° 5.1. Lista de procesos importantes en el sistema a base de pre-armados	113
Tabla N° 5.2. Programación diaria – Grúa Torre 1	139
Tabla N° 5.3. Programación diaria – Grúa Torre 2	143
Tabla N° 5.4. Tabla de actividades principales realizadas por la Grúa Torre 1	147
Tabla N° 5.5. Tabla de actividades principales realizadas por la Grúa Torre 2	148
Tabla N° 5.6. Tablas de codificación de actividades	152
Tabla N° 5.7. Programación diaria – Grúa Torre 1, codificada por actividades	154
Tabla N° 5.8. Programación diaria – Grúa Torre 2, codificada por actividades	154
Tabla N° 5.9. Carta balance típica (17-01-11) – Grúa Torre 1	155
Tabla N° 5.10. Carta balance típica (17-01-11) – Grúa Torre 2	155
Tabla N° 6.1. Tabla de resultados de incidencia de trabajos – Grúa Torre 1	164
Tabla N° 6.2. Tabla de resultados de incidencia de trabajos – Grúa Torre 2	165
Tabla N° 6.3. Tabla tiempo de ciclo y productividad, prelosa – Grúa Torre 1	175
Tabla N° 6.4. Tabla tiempo de ciclo y productividad, encofrado columna (2.6 m x 1 m) – Grúa Torre 1	176

Tabla N° 6.5. Tabla tiempo de ciclo y productividad, acero viga– Grúa Torre 2	177
Tabla N° 6.6. Tabla tiempo de ciclo y productividad, acero columna– Grúa Torre 2	177
Tabla N° 6.7. Tabla tiempo de ciclo y productividad, encofrado fondo de viga (3.2mx0.5m) – Grúa Torre 2	178
Tabla N° 6.8. Tabla tiempo de ciclo y productividad, encofrado placa (3.2mx3.2m) – Grúa Torre 2	178
Tabla N° 6.9. Tabla productividad de prelosa en zona difícil – Grúa Torre 1	179
Tabla N° 6.10. Tabla productividad de acero de viga al producirse interferencia de grúas torre – Grúa Torre 2	181
Tabla N° 6.11. Tabla de productividad de colocación de prelosa con recomendaciones – Grúa Torre 1	182
Tabla N° 6.12. Tabla de productividad de colocación de encofrado para fondo de viga (3.2mx0.5m) con recomendaciones – Grúa Torre 2	183
Tabla N° 6.13. Tabla de ratios del costo por hora de grúa torre para el acero	184
Tabla N° 6.14. Tabla de ratios del costo por hora de grúa torre para el encofrado	185

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1. Obreros realizando trabajos que se facilitarían con un equipo	2
Figura N° 1.2. Grandes casos, el estilo Toyota	11
Figura N° 1.3. Logo del Lean Construcción	16
Figura N° 2.1. Vista de un grupo de grúas torre	19
Figura N° 2.2. Vista de la pluma de una de las grúas torre	20
Figura N° 2.3. Vista de la contrapluma de una de las grúas torre	20
Figura N° 2.4. Vista del lastre de una de las grúas torre	21
Figura N° 2.5. Vista de uno de los contrapesos de una grúa torre	22
Figura N° 2.6. Vista del mástil de una grúa torre	23
Figura N° 2.7. Vista del carro de una grúa torre	23
Figura N° 2.8. Vista del gancho trasladando un elemento	24
Figura N° 2.9. Partes de un cable de acero	25
Figura N° 2.10. Partes de una grúa torre	26
Figura N° 2.11. Grúa automontable	27
Figura N° 2.12. Vista de dos grúas torre	28
Figura N° 2.13. Grúa torre automontable	29
Figura N° 2.14. Vista del esquema de una grúa torre deslizante	30
Figura N° 2.15. Vista de perfil de la base de una grúa torre empotrada	30
Figura N° 2.16. Vista de una grúa torre trepadora	31
Figura N° 2.17. Vista del esquema de una grúa torre arriostrada	32
Figura N° 2.18. Vista de grúa torre de pluma horizontal	33
Figura N° 2.19. Vista de grúa torre de pluma articulada	33
Figura N° 2.20. Grúa torre de pluma abatible	34
Figura N° 2.21. Vista de Grúa ciudad	35
Figura N° 2.22. Simbolización de actividad y tipo de tiempo	37
Figura N° 2.23. Actividades diferenciadas por diferentes barras	37
Figura N° 2.24. Ejemplo de distribución de actividades de personal mediante carta balance	37
Figura N° 2.25. Ejemplo de clasificación del trabajo	39
Figura N° 2.26. Carta Balance elaborada	39
Figura N° 3.1. Tasa de crecimiento del PBI (Variaciones porcentuales reales)	42
Figura N° 3.2. Lista de proyectos edificativos civiles en Perú	43

Figura N° 3.3. Grúa Móvil	46
Figura N° 3.4. Influencia de la longitud y de la inclinación de la pluma, sobre la carga máxima	47
Figura N° 3.5. Vista del Mini telehandler usado en obra	48
Figura N° 3.6. Vista del Telehandler en labores de traslado de encofrado	48
Figura N° 3.7. Vista de las Grúas Torre MC 115 y MC 85	49
Figura N° 3.8. Vista de faja transportadora	50
Figura N° 3.9. Vista de elevadores en uno de los sótanos	50
Figura N° 3.10. Vista del brazo hormigonador extendido	51
Figura N° 3.11. Dimensiones del brazo hormigonador extendido	51
Figura N° 3.12. Vista del traslado de las cajas ecológicas	52
Figura N° 3.13. Estadio deportivo en E.U.A. modelado con BIM	55
Figura N° 3.14. Gran Teatro Nacional modelado con tecnología BIM	56
Figura N° 3.15. Uso masivo de equipos en países desarrollados	57
Figura N° 3.16. Esquema de las características de la Grúa Torre MC 115	63
Figura N° 3.17. Esquema de las características de la Grúa Torre MC 85	63
Figura N° 3.18. Grúa móvil para montaje de Grúa Torre 1	64
Figura N° 3.19. Vista de principales equipos usados en la excavación	65
Figura N° 3.20. Vista de equipos usados en la fase estructural	67
Figura N° 4.1. Herramienta principal usada con el BIM	71
Figura N° 4.2. Simulación BIM – 4D del proceso constructivo del edificio	72
Figura N° 4.3. Simulación BIM del trabajo provisional de traslado de albañilería	73
Figura N° 4.4. Simulación BIM del desmontaje del brazo hormigonador	73
Figura N° 4.5. Simulación BIM de recorrido virtual para detectar zonas de peligro	74
Figura N° 4.6. Tren de actividades del planeamiento para los sótanos	76
Figura N° 4.7. Tren de actividades del planeamiento para la Torre	78
Figura N° 4.8. Zona de acción de las grúas torre	83
Figura N° 4.9. Planeamiento original con la grúa torre 1	85
Figura N° 4.10. Planeamiento incluyendo la grúa torre 2	86
Figura N° 4.11. Vista de la distribución de alturas de las dos grúas torre	87
Figura N° 4.12. Vista de traslado de nuevos cuerpos para el telescopaje	89
Figura N° 4.13. Vista del nuevo cuerpo posicionado para ser colocado	89
Figura N° 4.14. Vista frontal del desfase de altura entre las dos grúas torre	90

Figura N° 4.15. Vista del desmontaje de primera porción de la pluma	92
Figura N° 4.16. Vista del desmontaje de segunda porción de la pluma	92
Figura N° 4.17. Vista del desmontaje de la cabina del operario de la grúa torre	93
Figura N° 4.18. Vista del desmontaje del mástil de la grúa torre	94
Figura N° 4.19. Vista del desmontaje de un contrapeso	95
Figura N° 4.20. Vista del desmontaje de una porción de la pluma	96
Figura N° 4.21. Altura de seguridad bajo gancho	97
Figura N° 4.22. Limitadores de una Grúa Torre	100
Figura N° 4.23. Limitador de momento	100
Figura N° 4.24. Limitador de carga máxima	101
Figura N° 4.25. Limitador de recorrido de gancho	101
Figura N° 4.26. Limitador de translación	102
Figura N° 4.27. Limitador de giro	102
Figura N° 4.28. Evitar tracciones oblicuas	105
Figura N° 4.29. Evitar arrancar objetos fijos	105
Figura N° 4.30. Balancear cargas	106
Figura N° 4.31. Caricatura acerca de la prohibición de elevar personal	106
Figura N° 4.32. Evitar realizar maniobras con fuertes vientos	107
Figura N° 4.33. Prelosa con soga para su correcto direccionamiento	109
Figura N° 4.34. Rigger usando implementos de seguridad	110
Figura N° 5.1. Vista de zona para enganche de acero pre-armado para columna	114
Figura N° 5.2. Vista de traslado de acero pre-armado para columna	115
Figura N° 5.3. Vista de colocación de acero pre-armado para columna	115
Figura N° 5.4. Vista del desenganche de acero pre-armado para columna	116
Figura N° 5.5. Vista del enganche de encofrado lateral	116
Figura N° 5.6. Vista de traslado de encofrado lateral	117
Figura N° 5.7. Vista de colocación de encofrado lateral	118
Figura N° 5.8. Vista del desenganche de encofrado lateral	118
Figura N° 5.9. Vista del enganche de encofrado para fondo de viga	119
Figura N° 5.10. Vista del traslado del encofrado para fondo de viga	120
Figura N° 5.11. Vista de la colocación del encofrado para fondo de viga	121
Figura N° 5.12. Vista del desenganche del encofrado para fondo de viga	121
Figura N° 5.13. Vista del enganche del acero pre-armado	122



Figura N° 5.14. Vista del traslado de acero pre-armado	122
Figura N° 5.15. Vista de la colocación de acero pre-armado	123
Figura N° 5.16. Vista del desenganche del acero pre-armado	123
Figura N° 5.17. Vista del enganche de encofrados laterales	124
Figura N° 5.18. Vista del traslado de encofrados laterales	124
Figura N° 5.19. Vista de colocación de encofrado lateral de viga	125
Figura N° 5.20. Vista de encofrado lateral desenganchado	125
Figura N° 5.21. Vista de viga desencofrada	126
Figura N° 5.22. Vista del enganche de prelosa	127
Figura N° 5.23. Vista del traslado de la prelosa	127
Figura N° 5.24. Vista de la colocación de prelosa	128
Figura N° 5.25. Vista del desenganche de prelosa	128
Figura N° 5.26. Vista de traslado de acero para losas	129
Figura N° 5.27. Vista del enganche de acero para placa	130
Figura N° 5.28. Vista del traslado de acero para placa	130
Figura N° 5.29. Vista de la colocación de acero para placa	131
Figura N° 5.30. Vista del traslado de encofrado para placa	131
Figura N° 5.31. Vista de la colocación de encofrado para placa	132
Figura N° 5.32. Vista del balde de concreto	133
Figura N° 5.33. Vista de parrilla para traslado de bloques de concreto	133
Figura N° 5.34. Vista de la caja ecológica	134
Figura N° 5.35. Vista del baño ecológico	135
Figura N° 5.36. Vista de traslado de aplanadora	136
Figura N° 5.37. Vista del traslado de cabinas para oficinas	136
Figura N° 5.38. Diagrama de Ishikawa para acero pre-armado de columna	137
Figura N° 5.39. Diagrama de Ishikawa del colocado de prelosa	137
Figura N° 5.40. Ejemplo de flujo para recomendación en la colocación de prelosa	162
Figura N° 5.41. Flujo de la gestión de conocimiento	163
Figura N° 6.1. Diagrama de Pareto – Grúa Torre 1.	166
Figura N° 6.2. Diagrama de Pareto – Grúa Torre 2	167
Figura N° 6.3. División porcentual de trabajos en los que forma parte la Grúa Torre 1	168
Figura N° 6.4. División porcentual del trabajo productivo en el que toma parte la Grúa Torre 1	169

Figura N° 6.5. División porcentual del trabajo contributorio en el que toma parte la Grúa Torre 1	169
Figura N° 6.6. División porcentual del trabajo no contributorio en el que toma parte la Grúa Torre 1	170
Figura N° 6.7. División porcentual de trabajos en los que forma parte la Grúa Torre 2	171
Figura N° 6.8. División porcentual del trabajo productivo en el que toma parte la Grúa Torre 2	172
Figura N° 6.9. División porcentual del trabajo contributorio en el que toma parte la Grúa Torre 2	172
Figura N° 6.10. División porcentual del trabajo no contributorio en el que toma parte la Grúa Torre 2.	173

## INTRODUCCIÓN

El avance incontenible de la industrialización ha traído consigo la aparición en el mercado de una gran gama de equipos mecánicos que pueden ser utilizados en el campo de la construcción, justamente dentro de esta gama se tiene a los equipos tipo grúas torre. Dichos equipos son maquinarias de mucha utilidad para el tipo de trabajos que se realizan en las actividades de la construcción, entre ellos se destacan una gran variedad de labores constructivas; ya sea para trabajos de producción como para trabajos provisionales.

En el marco local se aprecia el uso de grúas torre cada vez con mayor frecuencia, es decir; recién se está introduciendo dicho equipo en los proyectos de construcción, motivo por el que se sabe poco sobre la utilización y la obtención de buenos índices de productividad, de manera que se justifique la inversión por la adquisición de un equipo de este tipo.

Las exigencias de los clientes en los contratos de la actualidad, en cuanto a lograr obtener menores plazos para el término de la construcción es cada vez mayor, con lo cual es necesario el uso de toda la tecnología posible con la finalidad de cumplir con lo establecido en los contratos. Los clientes son capaces de invertir grandes sumas de dinero a cambio de ejecutar sus proyectos en el menor plazo posible.

El afán por mejorar cada vez más los procedimientos constructivos se vuelve un deseo grande para el campo de la construcción, para ello es necesario utilizar todas las herramientas posibles que se tienen en nuestro entorno, herramientas que a la vez sirven para realizar el seguimiento de los procedimientos constructivos y calcular los índices de productividad que se vienen obteniendo.

## CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

En el presente capítulo se da a conocer puntos generales que se aprecian en la realidad actual de nuestro medio en cuanto al uso de recurso humano para trabajos riesgosos y se compara con la posibilidad del uso de equipos, siendo este hecho uno de los motivos para el inicio de la investigación de este tema de tesis, asimismo se señalan los aspectos fundamentales de las filosofías más importantes para realizar un trabajo sin pérdidas.

### 1.1 CONSTRUCCIÓN COTIDIANA A BASE DE MANO DE OBRA

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 en estos lares, 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 industria de 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.

De manera que los trabajos que demandan gran esfuerzo son realizados por los obreros, entre esas actividades básicamente se tiene a las de traslado de grandes cantidades de materiales, colocación de elementos importantes, tales como encofrados, varillas de acero, pre-armados, etcétera; tal como el mostrado en la figura N° 1.1.

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.

Figura N°1.1. Obreros realizando trabajos que se facilitarían con un equipo.



Fuente: Paper GyM S.A.

## 1.2 DESVENTAJAS DE LA MANO DE OBRA PARA TRABAJOS DIFÍCILES

El término “trabajos difíciles” hace referencia a labores que requieren gran esfuerzo, como se mencionó en el acápite anterior; de manera que de acuerdo al panorama cotidiano, dichos trabajos se encuentran llevados a cabo por personal.

Una de las desventajas 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, lo cual significaría una desventaja muy grande en el caso se llegara a producir.

En la tabla N° 1.1 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 el aumento de otro tipo de maquinaria que reemplace al personal humano en zonas de alto peligro y de esta manera evitar el riesgo de que se produzca un accidente.

Tabla N° 1.1. Ratios de Perú del número de obreros debajo de una grúa torre de acuerdo al tipo de uso.

Descripción de Actividad	Uso Estándar	Usando Nuevos Sistemas	% de Diferencia
# de Trabajadores Debajo de una Grúa Torre	80 - 100	50 - 80	35%

Fuente: Paper GyM S.A.

### 1.3 ALTERNATIVA DE USO DE EQUIPOS EN TRABAJOS DIFÍCILES

Como se mencionó anteriormente, para muchos de los trabajos desarrollados en un proyecto de construcción se podría contar con equipos, de manera que los trabajos que son apropiados para el uso de equipos, se podrían reemplazar por el personal obrero que trabaja con riesgo de sufrir un accidente.

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 N° 1.2 se puede observar la equivalencia que existe entre el costo del empleo de equipos y el número de trabajadores. En la tabla N° 1.3 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 basado en el uso de equipos, para la construcción de la estructura de dos proyectos distintos, pero de las mismas características, pues ambos son proyectos de edificación.

De manera que se tiene varios motivos de gran importancia para el reemplazo de trabajadores con alto peligro de sufrir un accidente en lugar de equipos que mitigan en gran medida ese riesgo. Entre estos motivos de importancia tenemos al de seguridad, el de la disminución de plazos y el de costo.

Tabla N° 1.2. Costos de equipos y equivalencia con el número de trabajadores.

	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

Fuente: Paper GyM S.A.

Tabla N° 1.3. Comparación del plazo entre el sistema estándar con el sistema planteado.

Proyectos	Plazo Estandar	Plazo Nuevo Sistema	% de Diferencia
Torre Abaco (1400 m2, 5 sótanos)	4 meses	2.5 meses	38%
USIL (1800 m2, 4 sótanos)	4 meses	2.5 meses	38%

Fuente: Paper GyM S.A.

## 1.4 FILOSOFÍA PROPICIADA POR LOS JAPONESES: EL ESTILO TOYOTA

Los japoneses son individuos que no toleran las pérdidas o desperdicios en alguna actividad que realizan, ellos son convencidos de que todo puede ser previsto con anterioridad. En cuanto a establecer esta idea en su trabajo diario, los integrantes de la corporación Toyota fueron los pioneros en establecer una filosofía que se mostrará a continuación.

### 1.4.1 Toyota: La gestión japonesa de la excelencia

Cuando un automóvil sale de una de sus plantas, Toyota tiene la certeza de que ha fabricado un producto de altísima calidad, con menos defectos que los automóviles de cualquier otra marca, en menos tiempo y con menos trabajadores, y con la mitad del espacio que necesita la competencia. Dicha certeza derivó de las virtudes propias del Estilo Toyota. Se trata de más que un conjunto de técnicas e instrumentos de fabricación: es toda una filosofía de vida que determina todos los procesos llevados a cabo no sólo en las plantas de Toyota, sino también en las oficinas gerenciales.

Esta filosofía es la que ha convertido a Toyota en una de las empresas japonesas más rentables y con más éxito de la historia. Es una sumatoria de principios e ideas, que ha dado forma a una cultura y a un estilo de trabajo que la ha llevado a transformarse en el principal productor de vehículos a nivel mundial, y la sexta empresa más grande del mundo.

En la historia de la corporación moderna, la marcha de Toyota hacia la cumbre desde sus comienzos como un fabricante de maquinaria textil en la ciudad industrial de Koromo hasta lo que es hoy, una de las empresas más valoradas y respetadas a nivel mundial; es uno de los ejemplos más notables que existe de cómo, en base a valores profundos y una filosofía de vida, se debe gestionar una organización en el largo plazo.

#### **1.4.2 La cultura organizacional Toyota**

Edgar Schein<sup>1.1</sup> (1989) define una cultura organizacional como el patrón de premisas básicas que un determinado grupo inventa, descubre o desarrolla en el proceso de aprender a resolver sus problemas de adaptación externa y de integración interna, y que funcionaron suficientemente bien a punto de ser consideradas válidas y, por ende, de ser enseñadas a nuevos miembros del grupo como la manera correcta de percibir, pensar y sentir en relación a estos problemas.

Los japoneses presentan características individuales, propias de su tradición, que condicionan el desarrollo organizacional de cualquier empresa: la necesidad de crear confianza a nivel personal, la seriedad y honradez en los tratos, la exigencia respecto a la calidad, la importancia del trabajo en equipo y deseo de superación personal,

---

<sup>1.1</sup>Ex profesor de la escuela de MIT Sloan de Administración, ha hecho una marca notable en el campo de desarrollo organizacional.



la convicción acerca de que las decisiones deben tomarse en consenso, nunca a nivel individual, la austeridad, el cumplimiento estricto de las responsabilidades individuales, y el profundo respeto por el orden, la disciplina y la jerarquía. Una cultura con estos valores asociados y pautas que guían el comportamiento definen la identidad de la institución y determinan su modo de ser, su forma de pensar y su manera de actuar que influye definitivamente en la operación y los resultados de la empresa.

Esta cultura contiene un conjunto de elementos materiales e inmateriales que caracterizan a la institución y la distinguen de otros grupos humanos. Entre estos elementos se encuentran la misión y los valores, la filosofía y los conceptos, las actitudes y los comportamientos que han sido socialmente asimilados, compartidos y transmitidos por los miembros que integran la organización.

El estilo Toyota se ha transformado en una filosofía de vida para todos los que allí trabajan; no son solo pautas de comportamiento, sino que también fundamentos para el desarrollo del ser íntegro. Son dos conceptos que rigen el estilo Toyota, los cuales han estado presentes no solo en la empresa automotriz más grande del mundo, sino también en el desarrollo empresarial japonés: El Kanban<sup>1.2</sup> y El Kaizen<sup>1.3</sup>.

La principal función del Kanban es la de ser una orden de trabajo, es decir, un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de qué se va a producir, en qué cantidad, mediante qué medios y cómo transportarlo.

---

<sup>1.2</sup> Término japonés asignado a una etiqueta de instrucción.

<sup>1.3</sup> Término japonés utilizado para una filosofía que involucra a todos los integrantes de una organización.

Kanban cuenta con dos funciones principales: control de la producción y mejora de procesos. Por control de la producción se entiende la integración de los diferentes procesos y el desarrollo de un sistema JIT<sup>1.4</sup>. La función de mejora continua de los procesos se entiende por la facilitación de mejora en las diferentes actividades, así como la eliminación del desperdicio, organización del área de trabajo, mantenimiento preventivo y productivo, entre otros. El Kaizen proviene de la unión de dos vocablos japoneses: KAI que significa cambio y ZEN que quiere decir bondad. Kaizen significa mejoramiento progresivo, continuo, que involucra a todos en la organización. La filosofía Kaizen tiene un trasfondo humanista, supone que la forma de vida –sea vida en el trabajo, vida social o vida familiar merece ser mejorada de manera constante.

Es fundamental comprender al Kaizen como un camino y no un objetivo en sí mismo, es una manera de hacer las cosas, una forma de gestionar la organización; se basa en detectar y eliminar todas aquellas actividades que no agregan valor a la compañía.

Un trabajador no especializado que trabaja en una máquina, puede dedicar todo su tiempo a seguir las instrucciones. Sin embargo, en tanto llega a ser más eficiente en su trabajo, comienza a pensar en el mejoramiento. Empieza a contribuir con mejoras en la forma de hacer su trabajo, a través de sugerencias.

La filosofía fundamental que le da vida y sobre la cual se basa el Kaizen es la búsqueda del camino que permita un armonioso paso y utilización de la energía. Es por ello que el Kaizen tiene por objetivo fundamental la eliminación de todos los obstáculos que impidan el uso más rápido, seguro, eficaz y eficiente de los recursos en la empresa.

---

<sup>1.4</sup> Just In Time (JIT), es un sistema de producción que se fundamenta principalmente en la reducción del desperdicio.

### 1.4.3 Lo aprendido en los últimos años

Toyota ha desarrollado ideas y métodos de negocios claros, cuyos orígenes radican en cinco principios establecidos en 1935 por el fundador de la empresa, Sakichi Toyoda. Sin embargo, la empresa no documentó el Estilo Toyota formalmente hasta el 2001, un vez que se percató de que el número creciente de empleados de Toyota fuera de Japón requerían una capacitación rigurosa en cuanto a su uso.

Los dos pilares que sustentaron la expansión mundial de la filosofía de trabajo son el mejoramiento continuo y el respeto por las personas. Dichos pilares, claves en el desarrollo de Toyota en Japón, se basan en los mismos principios ideológicos que han logrado desarrollar a toda la industria japonesa en los últimos 50 años. La diferencia entre Toyota y sus pares niponas se encuentra en el traspaso de dichos pilares a la estrategia de la empresa, vía compromiso de sus trabajadores a lo largo de todas sus plantas de fabricación y oficinas en el mundo. El éxito radica en lo aprendido, en el cómo logran traspasar e impregnar de valores orientales a una compañía con presencia mundial.

La implementación de estos dos pilares se manifiesta de la siguiente forma:

- El mejoramiento continuo está compuesto por tres elementos:
  - **Desafío:** Toyota ha formulado una visión en el largo plazo, enfrentando los desafíos con el valor y la creatividad necesaria para realizar sus sueños.
  - **Kaizen:** "Mejoramiento continuo". Toyota mejora continuamente sus operaciones de negocios, siempre buscando innovación y evolución.

- Genchi Genbutsu: “Vaya y veálo usted mismo”. Los trabajadores de Toyota van a la fuente de los problemas para encontrar los hechos que los han provocado, el objetivo es poder tomar las decisiones correctas producto del consenso y así poder cumplir las metas propuestas.
- El respeto por las personas está compuesto por dos elementos:
  - Respeto: En Toyota se respeta a las personas, se realizan todos los esfuerzos para que todos se comprendan, asumiendo la responsabilidad por todas las acciones cometidas, y hacen lo mejor posible para construir confianza mutua.
  - Trabajo en equipo: Se estimula el crecimiento personal y profesional de los trabajadores; se comparten las oportunidades para el desarrollo y se busca maximizar el rendimiento individual y de los equipos que en su interior se conforman.

#### 1.4.4 Los principios del estilo Toyota

Los pilares anteriormente descritos se traducen a una guía de 14 principios que dan forma a la intención de mejora y respeto. Estos 14 principios del Estilo Toyota son más que métodos y herramientas de trabajo, son expresiones de una filosofía de vida que han logrado traspasar a todos los componentes de la empresa.

- Principio 1 Basar las decisiones de administración en una filosofía de largo plazo, aún a costo de las metas financieras de corto plazo.
- Principio 2. Crear flujos de procesos continuos para llevar los problemas a la superficie.
- Principio 3. Uso del sistema “Jalar” (Pull) para evitar la sobreproducción.

- Principio 4. Nivelar la carga de trabajo (Level out the workload).
- Principio 5. Construir una cultura orientada a la solución de problemas, para obtener calidad a la primera vez.
- Principio 6. La estandarización de tareas y procesos es la base del mejoramiento continuo y el empoderamiento de los empleados.
- Principio 7. El control visual impide que se oculten los problemas.
- Principio 8. Utilizar tecnología confiable y testeada que sea de utilidad para las personas y los procesos.
- Principio 9. Desarrollar líderes que entiendan su trabajo en Toyota, vivan su filosofía y se la enseñen al resto.
- Principio 10. Desarrollar personas y equipos excepcionales que sigan la filosofía de la compañía.
- Principio 11. Se debe respetar la red de aliados y proveedores, desafiándolos y ayudándolos a mejorar.
- Principio 12. Para comprender una situación se debe verificar en primera persona.
- Principio 13. Tomar decisiones lentas por consenso, considerar profundamente todas las opciones e implementar las decisiones rápidamente.
- Principio 14. Por medio de la reflexión implacable (hansei) y la mejora continua (kaizen) la empresa debe asumir un rol de aprendizaje sistemático.

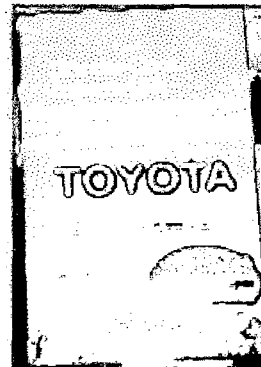
Respecto a cómo influyen estas ideas fundamentales en los principios operativos de Toyota, Katsuaki Watanabe<sup>1.5</sup> afirma que “El

---

<sup>1.5</sup> Vicepresidente de Toyota Motor Corporation, asumió el cargo el 23 de junio de 2009.

Estilo Toyota ha sido y seguirá siendo el estándar para todo aquel que trabaje en Toyota en cualquier parte del mundo. Nuestros principios orientadores definen la misión y los valores de Toyota, pero el Estilo define cómo trabajamos. Estos pilares de mejoramiento y respeto son para mí parte del aire que respiramos. Cuando hablamos de que el cliente es primero, no solo hablamos del cliente final; para los trabajadores la persona próxima en la línea de montaje también es su cliente: eso genera trabajo en equipo. Si se adoptan estos principios todos estaremos conscientes y buscando las fuentes de los problemas y todo aquello que es necesario para mejorar, para lograr el Kaizen". En la actualidad se tienen muchos medios bibliográficos disponibles de consulta acerca del Estilo Toyota, tal como se aprecia en la figura N° 1.2.

Figura N° 1.2. Vista de un elemento bibliográfico sobre el estilo Toyota.



Fuente: Elaboración anónima.

## 1.5 ORIGEN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

La construcción es una industria muy antigua, la necesidad por cubrir una de las carencias más básicas del hombre se ha mantenido desde los inicios de la construcción. Con el deseo de mejorarse los índices de productividad en la industria norteamericana se originó una vertiente filosófica denominada Lean Construction, la cual hoy en día viene siendo conocida cada vez más por una mayor cantidad de profesionales en el ámbito de la construcción alrededor de todo el mundo.

### 1.5.1 Orígenes

La cultura del Lean Construction y muchos de estos métodos tienen sus raíces en periodos antes de análisis científicos. Sin embargo, especialmente después de la Segunda Guerra Mundial, ha habido muchos intentos para entender la construcción y sus desafíos, para desarrollar soluciones sostenibles y métodos de mejora. Diferentes iniciativas han sido tomadas, las cuales incluyen: industrialización, construcción integrada con computadora y administración de la calidad total. Diferentes técnicas operacionales y estratégicas, tales como el planeamiento de proyectos y las herramientas de control, métodos organizacionales, factores para el éxito del proyecto y métodos de mejora de la productividad también se han elevado (Koskela<sup>1.6</sup> 1992).

Por muchas décadas, la manufactura ha sido usada como un punto de referencia de innovaciones por muchos sectores, incluyendo la construcción. La filosofía Lean Construction ha sido introducida durante la última década y está basada en los principios del sistema de producción de Toyota, vista en el acápite anterior. El concepto es dedicado a maximizar el valor y eliminar el desperdicio dentro de la industria de la construcción. Un elemento importante en la filosofía Lean se refiere a enfocar dentro de procesos de mejora, operaciones no individuales como esta puede conducir a la sub-optimización (Shingo<sup>1.7</sup> 1988).

En construcción, la aplicación del Lean production originado del trabajo de Koskela en el reporte "Aplicación de la nueva filosofía de producción para construcción". En este reporte Koskela (1992), enfatiza la importancia de los flujos de los procesos de producción,

---

<sup>1.6</sup>Profesor y jefe de proyecto de KIM en la Universidad de Salford. Lidera un grupo de investigación que desarrolla una teoría basada en el Lean Construction y en la Gestión de la Producción.

<sup>1.7</sup>Miembro de Toyota, junto a Ohno y Toyoda impulsa la corriente de la producción sin pérdidas.

tan bueno como aspectos mencionados para convertir entradas en productos finalizados como un importante elemento para reducir desperdicios. El dividió todos los procesos de la producción en cuatro procesos consecutivos: (1) movimiento, (2) esperas, (3) procesamiento e (4) inspección. Solamente el procesamiento fue determinado como una actividad de conversión y por lo tanto un valor adicionado.

Las otras actividades son consideradas como apoyo de diferentes actividades de conversiones porque ellos no agregan valor a la salida, pero aún existen en todos los procesos de producción. Koskela (1992) consideró estas actividades como desperdicio y apoyó su reducción. Sin embargo, la aplicación del Lean en la industria de la construcción es substancialmente diferente de la aplicada en la industria manufacturera debido a las características peculiares de construcción.

### 1.5.2 Características principales de la construcción

La construcción es fundamentalmente un tipo diferente de producción comparado a la manufactura. La industria de la construcción es única para aquella producción de uno de los tipos de productos (Koskela 1992). Ballard<sup>1.8</sup> and Howell<sup>1.9</sup> (1998) sugieren que los objetos poseen dos características, las cuales únicamente juntos definen ellos: (1) ellos pertenecen a la categoría "posición fijada de fábrica" en el cual el producto a ser manufacturado eventualmente se convierte muy extenso para ser movilizado a través de las estaciones de trabajo, por lo tanto las estaciones del trabajo tienen para moverse a través del producto, y (2) ellos están arraigados en el lugar en el cual significa que no pueden estar desplazados.

---

<sup>1.8</sup>Co-fundador y director de investigación del Lean Construction Institute (LCI).

<sup>1.9</sup>Con más de 35 años en la industria de la construcción, gestión de proyectos y experiencia en la enseñanza académica para el Lean Construction Institute.



También el proceso de producción está esencialmente basado en el proyecto; cada proyecto es único en términos de especificaciones, métodos llevados, administración y participantes. A diferencia de la industria manufacturera donde los mismos empleados realizan el trabajo continuamente, un proyecto de construcción envuelve muchas diferentes compañías, las cuales no han trabajado necesariamente juntas antes.

Además, los proyectos en la industria de la construcción varían considerablemente en términos del tipo de sector en el que ellos se desarrollan (por ejemplo, construcción naval, caminos y edificaciones). Los proyectos de construcción también pueden estar caracterizados por ser lentos o rápidos, simples o complejos, y determinados o indeterminados (Ballard y Howell, 1998). Debido a estas peculiaridades; la industria de la construcción es frecuentemente considerada como una actividad diferente de la manufactura.

### **1.5.3 Lean Construction: Definición y principios**

Lean Construction es definida por el Instituto de Lean Construcción como una filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas). Se enfoca en crear un sistema de producción ajustado que minimice residuos y herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución de proyectos.

La industrialización de la construcción es muy compleja, por esto es importante regirse de normas o principios que encaminen hacia un mejor entendimiento de lo que implica la implementación de Lean Construction en cualquier proyecto de ingeniería civil. Algunos principios por los cuales podemos regimos en la filosofía Lean son:

- Identificar el valor del proyecto e incrementarlo bajo las necesidades del cliente.
- Programar el flujo de valores (Value stream mapping).
- Simplificar y minimizar pasos y etapas (Flow).
- Implementar la entrega por demanda (Pull).
- Buscar la perfección y el desarrollo continuo.
- Reducir la variabilidad.
- Reducir los tiempos de ciclo.
- Incrementar la flexibilidad.
- Incrementar la transparencia.
- Otorgar poder de decisión a los trabajadores.
- Benchmarking (Modelos de éxito).

#### 1.5.4 Lean Construction contra la construcción tradicional

Koskela (1992) afirmó que el concepto más general parece entender a la construcción como un simple proceso de transformación de entrada a salida. Este concepto es actualmente compartido por los antiguos y nuevos métodos en construcción (figura N° 1.3).

El sistema tradicional de construcción de proyectos se enfoca más en realizar el seguimiento de tiempo y costo. El control de tiempo trata de observar el progreso en la línea de producción, mientras el control de costo está principalmente interesado en el presupuesto, los motivos para el control de costos si el proyecto está por debajo o encima del presupuesto. Kim<sup>1.10</sup> (2002) sugiere que en la construcción tradicional, el control consiste en monitorear comparando con la programación y la estimación de presupuestos; mientras en Lean Construction el control es definido como causante de eventos para conformar el plan. Kim (2002) continúa al decir que la construcción tradicional se enfoca más en actividades independientes.

---

<sup>1.10</sup>Miembro de la Universidad de Texas, autor de un estudio del Lean Construction: "Assessment of lean implementation" ("Evaluación de la Implementación Lean").

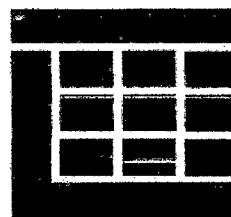
En la construcción tradicional, el control comienza con el seguimiento del costo y programación.

### 1.5.5 Desperdicios en la industria de la construcción

Durante el proceso de construcción, los gerentes de construcción tienen que tratar con diferentes factores que pueden afectar negativamente la performance de los procesos de producción, y producir diferentes tipos de desperdicios. Los desperdicios pueden incluir errores, trabajos fuera de la secuencia, actividades redundantes y movimientos, retrasos, ingresos prematuros y productos o servicios que no cumplen con las necesidades del cliente (Junta de la Industria de la Construcción, 1998).

Acorde a la nueva filosofía de la producción, el desperdicio es definido como algo ineficiente que resulta en el uso de equipamiento, materiales, labores, o capital en grandes cantidades que estos han considerado necesario en la producción de una edificación (Formoso, Isatto e Irota, 1999). Para Koskela (1992), el desperdicio incluye tanto la incidencia de pérdida de material como la ejecución de trabajo innecesario que genera costos adicionales pero no agrega valor al producto, Koskela argumentó que el desperdicio inherente en construcción es creado por trabajo rehecho debido a diseño o construcción de errores y actividades que no adicionan valor en el material y flujo de trabajo, tales como esperas, transportes, inspecciones, actividades duplicadas y accidentes.

Figura N° 1.3. Logo del Lean Construcción.



**LEAN  
CONSTRUCTION**

Fuente: <http://www.scri.salford.ac.uk/scri/news/article/?id=11>.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 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.

### 2.2 MOTIVOS DEL ORIGEN DE LAS GRÚAS TORRE

Los primeros trabajos asignados a las grúas torre ha sido el de traslado de material, reemplazando la mano de obra; a su vez reduce accidentes en obra.

La grúa torre puede elevar concreto mediante los baldes de acero hasta  $1\text{m}^3$  por viaje, esto ligado a la capacidad de la grúa que puede alcanzar hasta 40 toneladas con una grúa retráctil, el uso de 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 a un solo movimiento.

Los sistemas convencionales 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.

Uno de los fines buscados de este estudio es establecer criterios que debemos considerar cuando se usa la grúa, en sus primeros usos solo se usaba para acarrear materiales, este trabajo realizado es un trabajo contributorio, complementa un proceso que requiere de equipos pesados, sin embargo el cambio de sistemas involucra a la grúa como parte esencial

de la dinámica de la obra, entonces la grúa realiza trabajos productivos que se pueden cuantificar, esto significaría un mejor control en nuestra producción, planificación y avance.

### 2.3 DEFINICIÓN Y FUNCIÓN DE UNA GRÚA TORRE

Una grúa torre, es un equipo o máquina de funcionamiento electromecánico o hidráulico con un eje vertical giratorio y un brazo con varias poleas, que sirve para levantar pesos y llevarlos de un punto a otro, dentro del círculo que el brazo describe.

Otra definición dada es que se trata de un aparato de elevación de funcionamiento discontinuo, destinado a elevar y distribuir las cargas mediante un gancho suspendido de un cable, desplazándose por un carro a lo largo de una pluma.

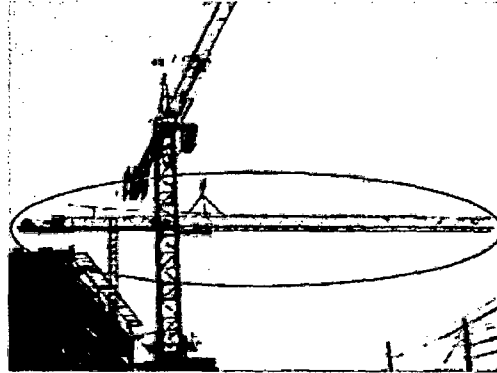
La grúa es orientable y su soporte giratorio se monta sobre la parte superior de una torre vertical, cuya parte inferior se une a la base de la grúa. La grúa torre suele ser de instalación temporal, y está concebida para soportar frecuentes montajes y desmontajes, así como traslados entre distintos emplazamientos. Se utiliza sobretodo en las obras de construcción, tal como se observa en la figura N° 2.1.

Poco importa si se trata de construir viviendas unifamiliares, bloques de edificios, naves industriales u otro proyecto de más envergadura. La grúa es la máquina más importante dentro de la obra, y tiene que ser capaz de sacar el máximo rendimiento de los medios humanos y materiales que en ella trabajen. Una grúa torre debe adaptar sus prestaciones a las necesidades de la obra, además de ser económica en el transporte y de montaje fácil y seguro.

La torre de la grúa puede empotrarse en el suelo, inmovilizada sin ruedas o bien desplazarse sobre vías rectas o curvas. Las operaciones de montaje deben ser realizadas por personal especializado. Asimismo las operaciones

un elemento longitudinal, cable fijador, al que se pueda sujetar el mosquetón del cinturón de seguridad.

Figura N° 2.2. Vista de la pluma de una de las grúas torre.

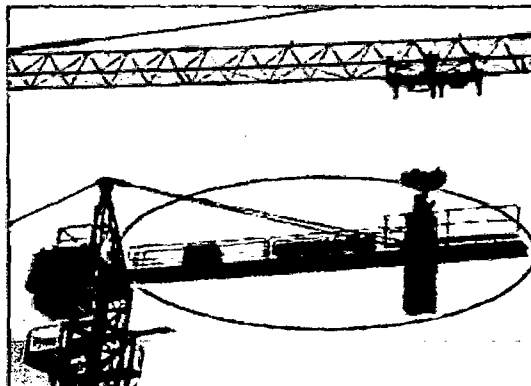


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### 2.4.2 Contra pluma

La longitud de la contra pluma oscila entre el 30% y el 35% de la longitud de la pluma. Al final de la contra pluma se colocan los contrapesos. Esta unido al mástil en la zona opuesta a la unión con la flecha. Está formada una base robusta formada por varios perfiles metálicos, formando encima de ellos una especie de pasarela para facilitar el paso del personal desde el mástil hasta los contrapesos. Las secciones de los perfiles dependerán de los contrapesos que se van a colocar. En la figura N° 2.3 se observa la contra pluma de una de las grúas torre.

Figura N° 2.3. Vista de la contra pluma de una de las grúas torre.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

de mantenimiento y conservación se realizarán de acuerdo con las normas dadas por el fabricante.

Figura N° 2.1. Vista de un grupo de grúas torre.



Fuente: Paper GyM S.A.

## 2.4 PARTES DE UNA GRÚA TORRE

La grúa se compone de tres partes: cabeza con brazos, torre desmontable y base. La primera, cabeza con brazos, esta dimensionada de acuerdo a la influencia de las características de cargas y alcances. La segunda, torre desmontable, esta dimensionada principalmente por la influencia de la característica de altura. La tercera está afectada por la influencia de las dos anteriores y tiene como misión principal la estabilidad tanto durante la carga como cuando no está funcionando la grúa.

### 2.4.1 Pluma

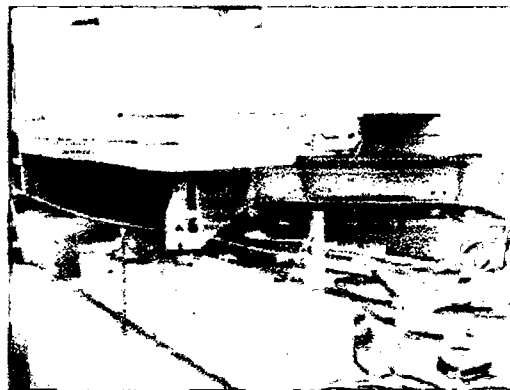
Es una estructura de celosía metálica de sección normalmente triangular, cuya principal misión es dotar a la grúa del radio o alcance necesario. Su forma y dimensión varía según las características necesarias de peso y longitud. También se le suele llamar flecha y puede ser desplazado por otras grúas torre en el montaje, tal como se observa en la figura N° 2.2. Al igual que el mástil suele tener una estructura modular para facilitar su transporte.

Para desplazarse el personal especializado durante los trabajos de montaje, revisión y mantenimiento a lo largo de la flecha dispondrá de

### 2.4.3 Lastre

Puede estar formada por una zapata enterrada o bien por varias piezas de hormigón prefabricado en la base de la grúa, tal como se muestra en la figura N° 2.4. Su misión es estabilizar la grúa frente al peso propio, al peso que pueda trasladar y a las condiciones ambientales adversas, por ejemplo el viento.

Figura N° 2.4. Vista del lastre de una de las grúas torre.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

### 2.4.4 Contrapeso

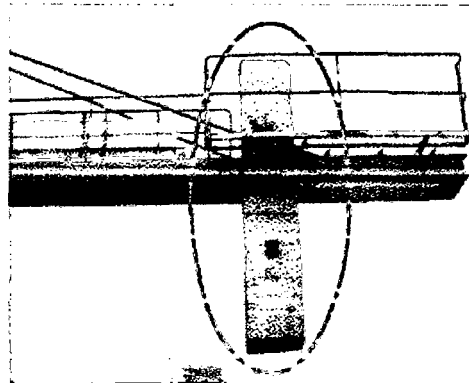
Son estructuras de hormigón prefabricado que se colocan para estabilizar el peso y la inercia que se produce en la flecha de la grúa. Deben estabilizar la grúa tanto en reposo como en funcionamiento.

La cantidad de contrapesos a colocar, varía dependiendo de la magnitud de carga con la que se desea trabajar, es decir si se tienen grúas que pueden trabajar con grandes cargas, se necesitará mayor cantidad de contrapesos. Tanto estos bloques como los que forman el lastre deben de llevar identificado su peso de forma legible e indeleble.

En la figura N° 2.5 se observa a uno de los contrapesos que son ubicados en la zona de la contra pluma, para estabilizar la grúa torre.



Figura N° 2.5. Vista de uno de los contrapesos de una grúa torre.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### 2.4.5 Mástil

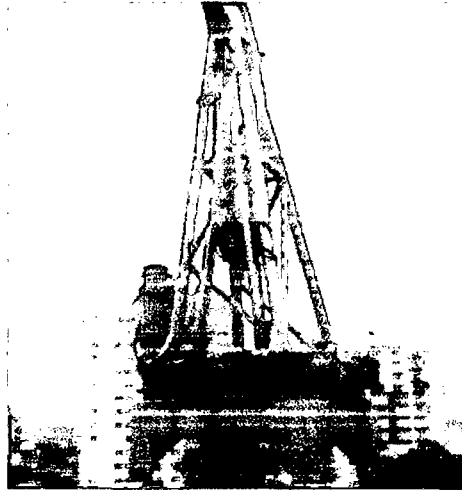
Consiste en una estructura de celosía metálica de sección normalmente cuadrada, cuya principal misión es dotar a la grúa de altura suficiente.

Normalmente está formada por módulos de celosía que facilitan el transporte de la grúa. Para el montaje se unirán estos módulos, mediante tornillos, llegando todos unidos a la altura proyectada. Su forma y dimensión varía según las características necesarias de peso y altura.

En la parte superior del mástil se sitúa la zona giratoria que aporta a la grúa un movimiento de 360° horizontales. También según el modelo la grúa torre puede disponer de una cabina para su manejo por parte de un operario. Para el acceso de operarios dispondrá de una escala metálica fijada a la estructura.

En la figura N° 2.6 se observa el mástil de una grúa torre, la cual se encuentra en la parte más alta de la grúa, sobre la cual se sostienen la pluma y contrapluma de la grúa torre.

Figura N° 2.6. Vista del mástil de una grúa torre.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### 2.4.6 Carro

Consiste en un accesorio que se mueve a lo largo de la flecha a través de unos carriles. Este movimiento da la maniobrabilidad necesaria en la grúa. Es metálico de forma que soporte el peso a levantar, en la figura N° 2.7 se aprecia el denominado carro.

Figura N° 2.7. Vista del carro de una grúa torre.



Fuente: Proyecto de diplomado – UPC.

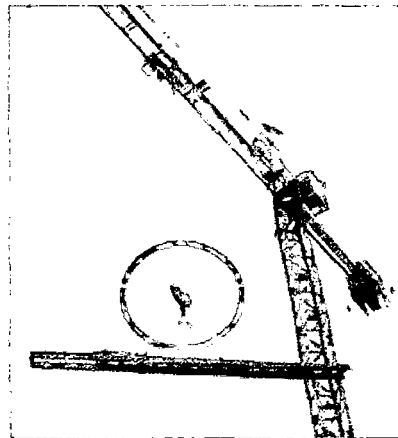
#### 2.4.7 Cables y gancho

El cable de elevación es una de las partes más delicadas de la grúa y, para que dé un rendimiento adecuado, es preciso que sea usado y

mantenido correctamente. Debe estar perfectamente tensado y se hará un seguimiento periódico para que, durante su enrollamiento en el tambor no se entrecruce, ya que daría lugar a aplastamientos.

El gancho irá provisto de un dispositivo que permite la fácil entrada de cables de las eslingas y estrobos, y de forma automática los retenga impidiendo su salida si no se actúa manualmente. En la figura N° 2.8 se puede apreciar el gancho de una grúa torre trasladando un elemento.

Figura N° 2.8. Vista del gancho trasladando un elemento.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### 2.4.8 Cables de acero

El cable de acero en la grúa es el centro neurológico de ésta, siendo el más importante después de los mecanismos de control y operación, pues es el elemento que une la carga a la grúa y participa activamente en todas las operaciones del equipo. Fallando éste, tendremos la certeza que ocurrirá un accidente grave.

Los cables de acero que normalmente se usan en grúas son para levante (izaje), tracción y fijación de diferentes elementos, estos están constituidos por: Alma, torones y alambres.

#### 2.4.9 Núcleo o alma

Tiene como función mantener fijos los torones en sus lugares, y también dar mayor o menor flexibilidad al cable, según sea el diámetro de éste o su composición.

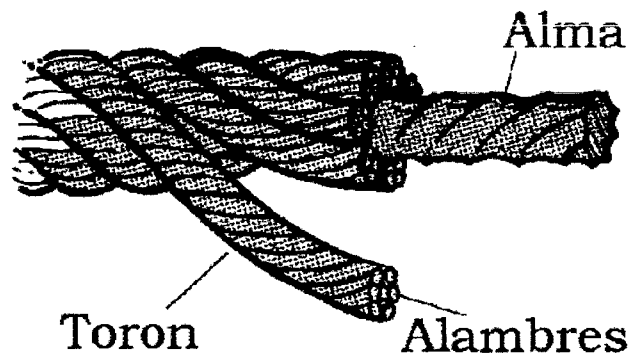
#### 2.4.9.1 Torones

Son las hebras que rodean el alma. En la medida que aumenta su número, aumenta la flexibilidad del cable.

#### 2.4.9.2 Alambres

Cada torón se compone de un número variable de alambres. A mayor cantidad de alambres disminuye el diámetro, con lo cual se acrecienta la flexibilidad, pero decrece la resistencia mecánica a la abrasión y corrosión.

Figura N° 2.9. Partes de un cable de acero.

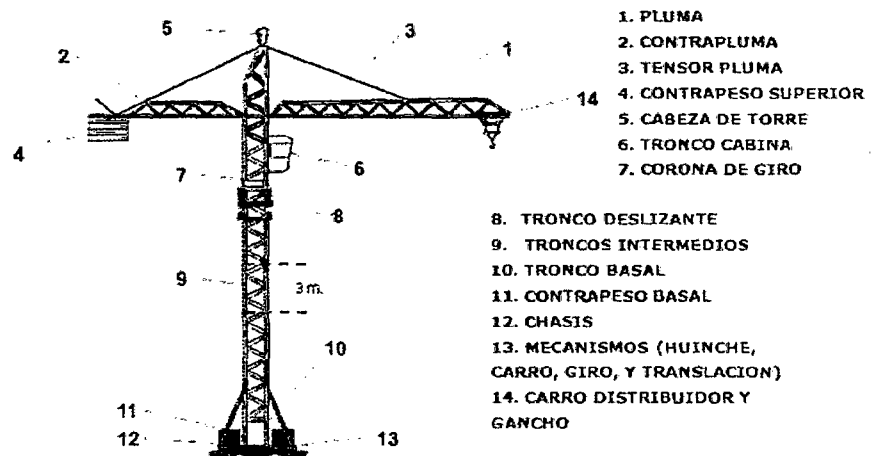


Fuente: Proyecto de diplomado – UPC.

Combinando de modo adecuado los alambres y torones, se obtienen tipos de cables de construcciones diversas y para diferentes usos; tal como se observa en la figura N° 2.9. Los cables de acero tienen una serie de características: Diámetro, construcción, resistencia, tipo de alambre, alma y recubrimiento de protección. Esto los hace ser únicos para cada uso y equipo, por lo que dos cables de igual diámetro no serán necesariamente iguales en su construcción, lo que obliga a que sólo el cable recomendado por el fabricante del equipo

es el que se debe utilizar, por lo tanto, se debe aclarar que cada cable aunque tenga el mismo diámetro exterior, tiene una construcción determinada, y es aquella la que fija su utilización. Si se utiliza un cable inadecuado, puede significar una ruptura súbita o un desgaste acelerado, y por ende su destrucción. En la figura N° 2.10 se aprecia cada una de las partes de una grúa torre.

Figura N° 2.10. Partes de una grúa torre.



Fuente: Grúas ETAC Perú S.A.C.

## 2.5 CLASIFICACIÓN

### 2.5.1 Por la forma de giro

#### 2.5.1.1 De acuerdo a su giro basal

Es aquella en que el giro se produce en la parte inferior, otra característica de este tipo de grúa es que su altura es limitada, por el cual no es de uso común.

#### 2.5.1.2 De acuerdo a su giro superior

Es la de uso más frecuente, su giro se produce en la parte superior y permite lograr una mayor altura.

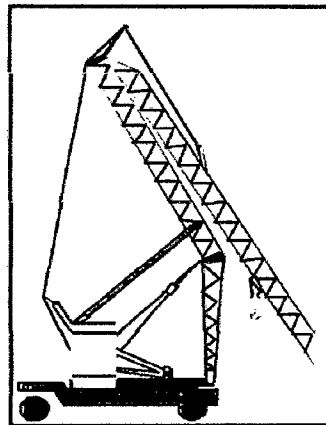
La constante demanda de este tipo de grúas, ha producido un avance bastante grande en las técnicas de accionamiento y control. La aplicación de sistemas de pantalla en relación con paquetes electrónicos de función y soluciones de sistemas, han traído con ello, nuevas dimensiones para el rendimiento y la seguridad.

## 2.5.2 Por la forma de montaje

### 2.5.2.1 Grúa automontable

Es aquella que viene con su torre y pluma plegadas, con las pasadas de cables separadas, con sus contrapesos generalmente colocados. Sólo hay que nivelarla, desplegarla y en el momento que esté armada, puede ser calibrada; en la figura N° 2.11 se aprecia una grúa automontable.

Figura N° 2.11. Grúa automontable.



Fuente: Mariela Cartes Cossio.

### 2.5.2.2 Grúa torre

Es aquella que se va armando por tramos, ayudada en su primera parte por una moto grúa. Luego se continúa adicionando paños a través de una operación llamada telescopaje. En la figura N° 2.12 se observa las dos grúas torre usadas en el proyecto en el cual se realiza el estudio.

Figura N° 2.12. Vista de dos grúas torre.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

### 2.5.2.3 Grúa torre automontable

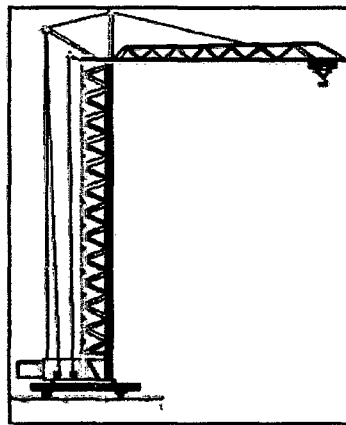
Es la combinación de las dos anteriores y además se le puede adicionar algunos tramos. Se ha hecho ya muy popular el empleo de este tipo de grúas en la edificación de pequeña altura y espacios abiertos. Generalmente se han empleado modelos de pequeña capacidad, pero hoy en día sin embargo, existe una amplia gama que incluye grúas de mucha capacidad.

Estas grúas son fácilmente trasladables, puesto que se pueden enviar como unidades compactas en tráiler, con sus contrapesos, incluso las de gran capacidad. Este tipo de grúas ha incorporado la posibilidad de trepado para conseguir mayores alturas de empleo, con lo que a las ventajas de un movimiento rápido de uno a otro lugar, se añade la posibilidad de utilizarlas en construcciones de mayor altura. En la figura N° 2.13 se puede apreciar una grúa torre automontable. Las tendencias del desarrollo de estas grúas han estado dirigidas a conseguir mayores posibilidades de instalación y montaje que se pueden resumir en las siguientes:

- Salvar con facilidad los obstáculos como antenas, chimeneas y edificios adyacentes, mediante la utilización de la grúa levantando la pluma un ángulo de 45°.

- Reducir el radio de giro de la base por modificación del diseño de la base y de los contrapesos.
- Permitir que el montaje de la pluma se realice en espacios cada vez más reducidos mediante articulaciones y plegados de la misma.
- Conseguir alturas superiores mediante procesos de trepado sencillos y rápidos.

Figura N° 2.13. Grúa torre automontable.



Fuente: Monografía de Mariela Cartes Cossio.

### 2.5.3 Por la forma de apoyo

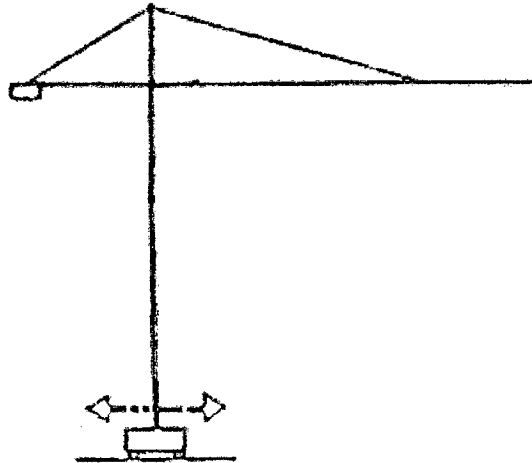
#### 2.5.3.1 Grúa torre deslizante

Es el modelo de grúa más empleado para la construcción de bloques de departamentos y en edificaciones de torres aisladas, permiten trasladar la grúa con carga sobre una vía previamente estudiada e instalada en obra.

Dada la importancia que tienen las vías de traslación para un buen desempeño de estos equipos, es conveniente respetar todas las medidas de seguridad que se adoptan en estos casos. En la figura N° 2.14 se observa el esquema de una grúa torre deslizante.



Figura N° 2.14. Vista del esquema de una grúa torre deslizante.



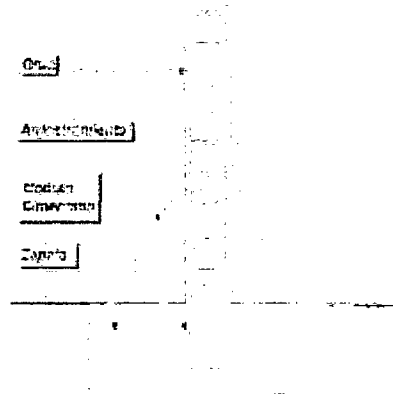
Fuente: Elaboración propia.

### 2.5.3.2 Grúa torre fija

En esta versión, la grúa se ubica estática en un punto, sobre un chasis y se distribuye en el área de círculo abarcada por la pluma. En la figura N° 2.15 se observa la vista de una grúa torre empotrada. El montaje de este equipo de elevación en obra, puede ser mediante los siguientes procedimientos:

- El empotramiento de un macizo de concreto de dimensiones acordes a la resistencia del suelo y del peso del lastre. Normalmente esta solución se utiliza en aquellas obras en donde no se puede armar el chasis de la grúa, por falta de espacio. En general disminuye su altura de autonomía.
- Sobre el chasis de base, sin ruedas, apoyado en una losa resistente, con el lastre de base conveniente.
- Apemado el chasis de base a alguna losa o vigas de adecuada resistencia. En caso de grúas de versión trepadora, sobre sus marcos o anillos convenientemente afianzados a los pisos.

Figura N° 2.15. Vista de perfil de la base de una grúa torre empotrada.



Fuente: <http://www.construmatica.com>.

### 2.5.3.3 Grúa torre trepadora

Es un sistema de montaje que permite que la grúa torre aumente de altura desplazándose por el interior del edificio a medida que ésta aumenta de altura. Todos sus esfuerzos de carga tanto horizontal como vertical son transmitidos al edificio a través de estructuras soportantes. Este tipo de sistema presenta un inconveniente en su desmontaje, el cual es más lento, debido a que se realiza en la terraza del edificio, las que son en general de geometría variable, en esa zona se tiene que anclar el equipo necesario para su desmontaje, el cual se debe tener calculado y diseñado de antemano. Hoy en día es poco utilizado este tipo de grúa torre fija. En la figura N° 2.16 se observa la vista de una grúa torre trepadora.

Figura N° 2.16. Vista de una grúa torre trepadora.

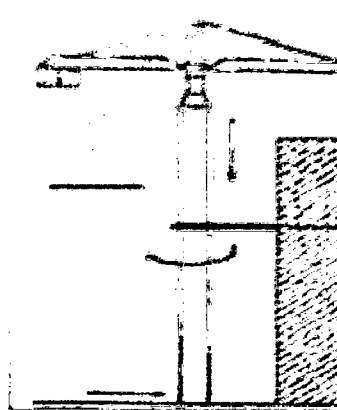


Fuente: Monografía de Mariela Cartes Cossio.

### 2.5.3.4 Grúa torre arriostrada

Denominada también grúa torre anclada al edificio. Cuando una grúa torre sobrepasa su altura rodante determinada por su estabilidad, en trabajo y fuera de servicio, expuesta a excesiva velocidad del viento, es preciso asegurarla, anclándola, si la grúa se encuentra próxima a un edificio, y arriostrándola por medio de vientos si la grúa se encuentra en una obra despejada. En la figura N° 2.17 se observa el esquema de una grúa torre arriostrada.

Figura N° 2.17. Vista del esquema de una grúa torre arriostrada.



Fuente: Mariela Cartes C., Tesis "Grúas Torre", Chile.

### 2.5.3.5 Grúa torre sobre camión

Este tipo de grúa, combinación de grúa automóvil y grúa torre, representa una alternativa práctica a la grúa convencional sobre camión, puesto que a la misma rapidez de traslado entre diferentes puntos de trabajo se añade la ventaja que representa la superior altura de arranque de pluma, que tiene la incorporación de la grúa.

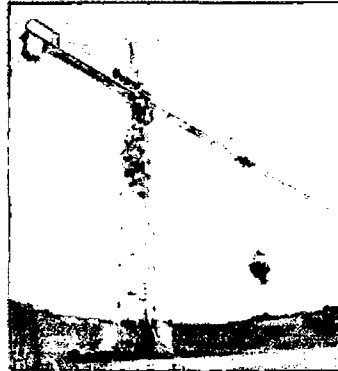
## 2.5.4 Por la forma de la pluma

### 2.5.4.1 Grúa torre de pluma horizontal

Actualmente se dispone de grúas torre de 4000 m/t, que pueden operar con alturas autoestables de hasta 300 m. Una grúa de este

tamaño puede levantar 37 toneladas a un radio de 80 m y su carga máxima es de 80 toneladas. Incluso la ingeniería moderna permite instalar una segunda grúa auxiliar en la contrapluma de estas grúas gigantes. En la figura N° 2.18 se observa la vista de una grúa torre de pluma horizontal.

Figura N° 2.18. Vista de grúa torre de pluma horizontal.

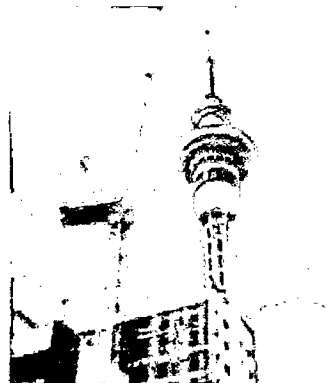


Fuente: <http://www.blogspot.com>.

#### 2.5.4.2 Grúa torre de pluma articulada

Este tipo de grúas permite variar la geometría de empleo de la pluma, pudiendo utilizarse en posición horizontal, ángulo obtuso y recto. Esta característica las hace especialmente indicadas para determinadas construcciones, como por ejemplo, torres de refrigeración y torres de TV. Su diseño permite la máxima altura y un menor número de arriostramientos para torres similares. En la figura N° 2.19 se observa una grúa torre de pluma articulada.

Figura N° 2.19. Vista de grúa torre de pluma articulada.

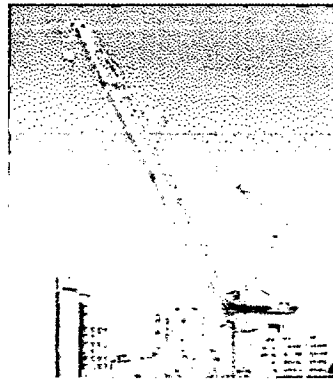


Fuente: <http://www.viarural.com.ar>

### 2.5.4.3 Grúa torre de pluma abatible

Este tipo de grúa está especialmente indicado para utilizar en sitios estrechos y en zonas donde no puede haber interferencias entre las grúas instaladas. La posibilidad de mover la pluma entre ángulos de 15° y 70° permite librar los obstáculos de su radio de acción de una forma muy sencilla, en la figura N° 2.20 se puede apreciar una grúa torre de pluma abatible.

Figura N° 2.20. Grúa torre de pluma abatible.



Fuente: <http://www.directindustry.es>.

### 2.5.4.4 Grúa ciudad o City Crane

Este tipo de grúas se está usando especialmente, para el trabajo de construcción en lugares ya edificados, como en la renovación de edificios en las zonas antiguas de las ciudades, bloques cercanos entre sí, restauración de fachadas, enmaderado de edificios históricos.

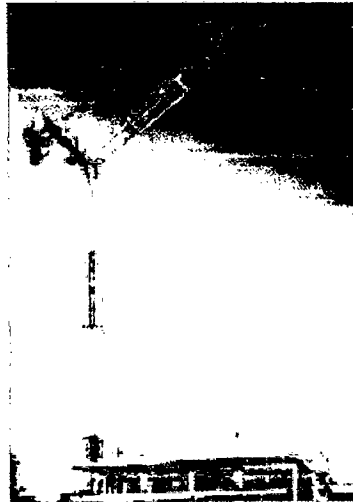
Se necesitan grúas con una tecnología capaz de resolver los problemas específicos de este tipo de construcciones y que por ejemplo son: poco espacio entre el edificio y la calle con una acera muy pequeña, calles muy estrechas, montajes a realizar en patios, huecos de ascensores o lado opuesto de la calle y ello con dificultades adicionales como que el tráfico no pueda ser cerrado totalmente o durante muy poco tiempo, suelos de escasa

capacidad para soportar cargas, etc. En la figura N° 2.21 se aprecia la vista de una grúa ciudad.

Estas grúas están especialmente concebidas para que su montaje sea efectuado con un número de secuencias muy reducido y deben ofrecer las siguientes características básicas:

- Base que ocupe un reducido espacio y que además sea capaz de soportar las cargas por esquina a que han de estar sometidas. Estas bases normalmente tienen forma de cruz y deben ser fácilmente convertibles en carretón para instalar sobre vía.
- Torres de sección reducida y compacta para permitir su instalación en huecos muy reducidos y para ahorrar espacio de transporte.

Figura N° 2.21. Vista de Grúa ciudad.



Fuente: Mariela Cartes C., Tesis "Grúas Torre", Chile.

## 2.6 CARTA BALANCE – HERRAMIENTA PARA EL CONTROL DE TRABAJO

### 2.6.1 Conceptos previos

La carta Balance es una herramienta estadística que permite describir en forma detallada el proceso de una operación de construcción para buscar su optimización.

Para la aplicación de la carta balance debemos recordar la siguiente clasificación del trabajo:

#### **2.6.1.1 Trabajo productivo (TP)**

Es el tipo de trabajo que aporta directamente a la producción, es decir, son actividades que agregan valor, las que en conjunto logran materializar lo requerido.

#### **2.6.1.2 Trabajo contributorio (TC)**

Es el trabajo relacionado a las actividades necesarias indirectamente para que pueda realizarse el trabajo productivo (TP).

#### **2.6.1.3 Trabajo no contributorio (TNC)**

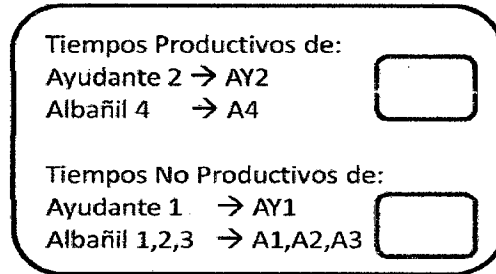
Es el tipo de trabajo que no es ni producción ni apoyo, sino que genera desperdicios, o también conocidas como esperas.

### **2.6.2 Objetivo de la carta balance**

El objetivo de la Carta Balance es analizar la eficiencia del método constructivo empleado, más que la eficiencia de los obreros. No se pretende conseguir que el obrero trabaje más duro, sino en forma más inteligente. En la figura N° 2.22 se tiene un ejemplo de los tipos de tiempos que se identifican para algunas cuadrillas, con ayuda de la Carta Balance, en la figura N° 2.23 se aprecia diferentes simbologías usadas para cada tipo de actividad que se realiza. En la figura N° 2.24, se muestra un ejemplo de Carta Balance:

- Cada barra representa un trabajador.
- El eje de las ordenadas representa el tiempo minuto a minuto.

Figura N° 2.22. Tipos de tiempos identificados para algunas cuadrillas.



Fuente: Paper GyM S.A.

Figura N° 2.23. Actividades diferenciadas por diferentes símbolos.



Fuente: Paper GyM S.A.

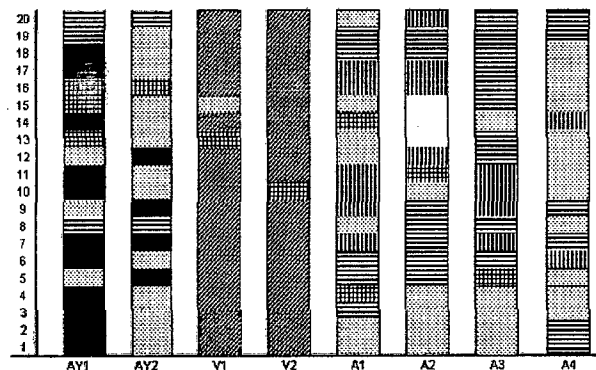
Figura N° 2.24. Ejemplo de distribución de actividades de personal mediante carta balance.

CARTA DE BALANCE

CUADRILLA: CONCRETO ELEMENTOS HORIZONTALES

FECHA: 12-Ago

DESCRIPCIÓN: Vaciado de Losaf Sector S1-a



Fuente: Paper GyM S.A.



### 2.6.3 Consideraciones para la carta balance

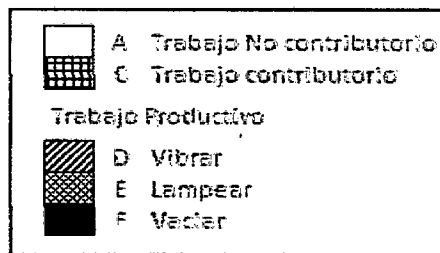
- Observar y entender la actividad que se va a muestrear.
- Identificar a cada uno de los integrantes de la cuadrilla, (para esto se puede darles cascos de diferentes colores o camisetas para que sea fácil distinguirlos).
- La frecuencia aconsejada de muestreo es de un minuto, con no menos de treinta observaciones en total (30 minutos) o las que sean necesarias para observar dos ciclos seguidos completos como mínimo, (se recomiendan 3 ciclos).
- La cuadrilla a observar podrá tener un máximo de 8 a 10 integrantes.
- Es recomendable que se realice anotaciones de cómo se realizaba el trabajo, con qué materiales, herramientas o equipos, qué tipo de interrupciones hubieron, cuánto avanzó, etc.; así se obtiene mayor información de lo que sucede mientras se realiza la medición y otros datos necesarios para optimizar la cuadrilla o flujo de recursos.

### 2.6.4 Procedimiento para construir una carta balance

- Antes de iniciar el muestreo se deben identificar los trabajos que componen las diferentes categorías (TP, TC y TNC), y definirlos para la operación que se va a estudiar, y además asignarle a cada uno, una letra o clave, se tiene un ejemplo en la figura N° 2.25.
- Registrar en el formato de Carta de Balance, minuto a minuto, las actividades de cada uno de los integrantes de la cuadrilla, tal como se aprecia en la tabla N° 2.1.

- Procesar los datos recogidos en una hoja de excel, graficando las barras de distribución del uso de tiempo en las diferentes actividades (figura N° 2.26). Además se puede distribuir porcentualmente el uso del tiempo para cada uno de los integrantes de la cuadrilla.
- Escribir un informe considerando insumos, proveedores, clientes, rendimientos, etc.

Figura N° 2.25. Ejemplo de clasificación del trabajo.



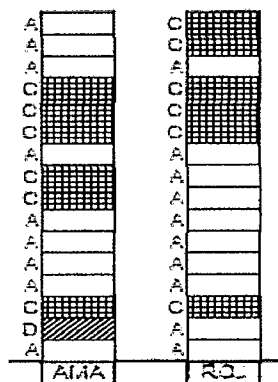
Fuente: Paper GyM S.A.

Tabla N° 2.1. Mediciones de cuadrilla para carta balance.

	I	II	III	IV
1 min	A	A	B	B
2 min	D	A	B	B
3 min	C	C	B	B
4 min	A	A	A	A
5 min	A	A	A	A
6 min	A	A	A	A
7 min	A	A	A	A

Fuente: Paper GyM S.A.

Figura N° 2.26. Carta Balance elaborada.



Fuente: Paper GyM S.A.

## **CAPÍTULO III: PROYECTO CONSTRUCTIVO ENFOCADO EN EL USO DE EQUIPOS**

El presente estudio se orientará hacia un tipo de proyecto de edificación que se caracteriza por el uso de una buena cantidad de equipos no convencionales, los cuales se toman agentes agilizantes del avance de la construcción del proyecto.

Como se mencionó anteriormente en nuestra realidad nacional muchos de los equipos que se darán a conocer en este capítulo no son convencionales en el ámbito de la construcción de edificios, sin embargo el uso de ellos cada día más se va acrecentando, como es el caso de las Grúas Torre, razón por la cual merece un estudio para optimizar el uso de estos equipos.

A continuación se dará a conocer el origen de la idea del uso de equipos en el campo de la construcción, la experiencia recogida de otros países, la razón del por qué hoy en día resulta una necesidad. Con toda esta nueva forma de trabajo se origina un nuevo perfil de proyecto, con nuevos retos para nuestra realidad nacional, y el desarrollo de esta idea en un proyecto, que muestre todo lo que se vislumbra será una tendencia en crecimiento.

### **3.1 NECESIDAD DE UN PLANEAMIENTO ENFOCADO EN EL USO DE EQUIPOS**

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. Uno de esos recursos tecnológicos actualmente disponibles es el empleo de equipos en los proyectos de construcción.

Por otra parte el origen de proyectos cada vez más difíciles, con plazos más cortos obliga al cambio de la forma de trabajo tradicional, reemplazando la

mano de obra no calificada (ante la escasez de mano de obra calificada) por equipos que proporcionen una mayor productividad a los trabajos a desarrollarse.

### **3.1.1 Experiencias del crecimiento de la construcción en otros países**

En países desarrollados, se han logrado construir edificios civiles de más de 1000 metros de altura (más de 1 kilómetro), y se encuentran aún prestos a seguir mejorando sus propias marcas.

En países de una realidad económica más cercana a la nuestra (Chile, México, etc.), se viene llegando a la marca de los 300 metros de altura, la realidad del Perú con estos países no es demasiado distante, ya que se ha llegado a la marca de 118 metros (Hotel Westin Libertador), pero aún falta mucho camino por recorrer.

Es así que proyectándonos hacia una visión más amplia de la realidad actual en nuestro planeta, no debemos ser ajenos a las nuevas tendencias del mundo moderno.

### **3.1.2 Consecuencias del crecimiento en la construcción**

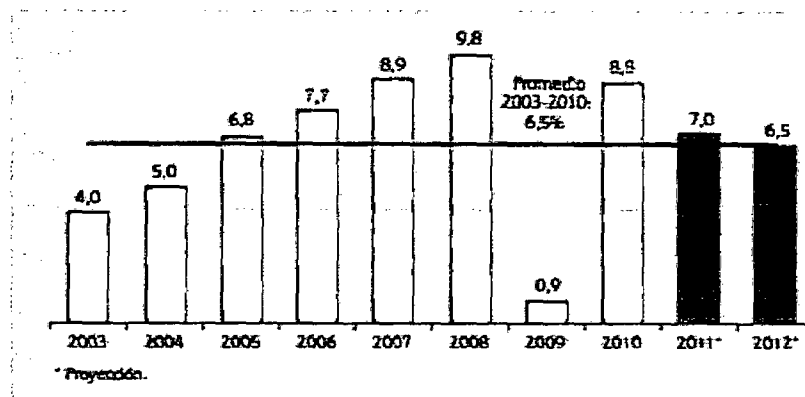
El crecimiento económico del sector construcción se ve reflejado como consecuencia del crecimiento económico de nuestro país, este crecimiento ha llevado a los constructores a implementar con nuevas tecnologías sus obras, de manera que se vean beneficiadas con mejoras en el desarrollo del trabajo productivo.

Además este crecimiento económico origina el aumento del número de proyectos, el aumento de la complejidad, clientes más exigentes con proyectos más grandes con plazos más cortos y por ende el aumento de la competitividad entre empresas.

Toda esta gran hegemonía en el sector de la construcción trae como consecuencia el origen de la escasez de los materiales y lo más crítico es la escasez de recursos humanos.

En la figura N° 3.1 se aprecia la tasa de crecimiento del PBI de construcción en los últimos años, además se presenta los índices proyectados para los años 2011 y 2012, lo cual indica que la construcción se mantendrá con un buen promedio.

Figura N° 3.1. Tasa de crecimiento del PBI (Variaciones porcentuales reales).



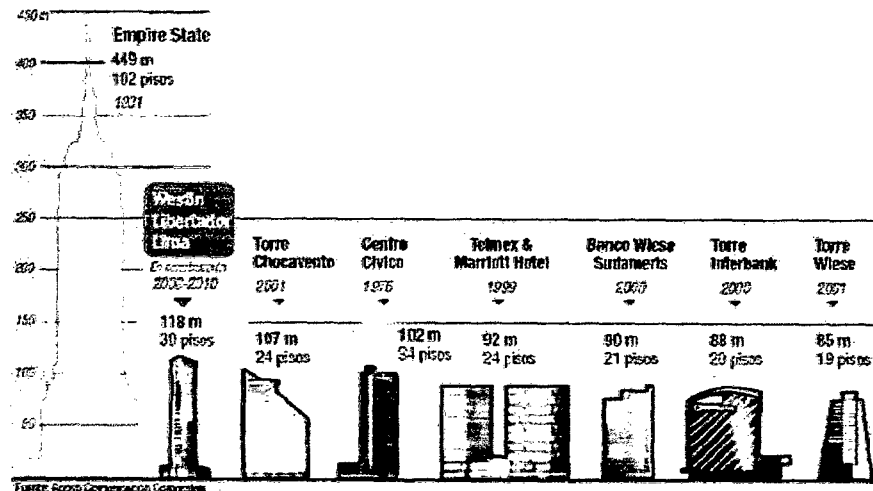
Fuente: INEI, Dirección Nacional de Indicadores Económicos.

### 3.1.3 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, esta mano de obra viene siendo reemplazada por equipos modernos. Los proyectos son cada vez más complejos en aspectos como: tamaño, formas, altura, profundidad, volados, como se aprecia en la figura N° 3.2. Además actualmente los proyectos requieren de nuevos estándares (como ejemplo se tiene al LEED<sup>3.1</sup>), más ingenieros con experiencia, mayor capacidad de proveedores.

<sup>3.1</sup>Leadership in Energy and Environmental Design. Es un sistema de certificación de edificios sostenibles, compuesta por un conjunto de normas.

Figura N° 3.2. Lista de proyectos edificativos civiles en Perú.



Fuente: Apoyo Comunicación Corporativa

### 3.1.4 Soluciones para enfrentar el nuevo perfil del proyecto

Para contrarrestar la escasez de mano de obra calificada resulta necesario echar mano de la innovación tecnológica, de manera que para reemplazar la falta de mano de obra se debe usar equipos modernos, a continuación se proponen una serie de soluciones:

- Es necesario 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 y reducir la mano de obra.
- Trabajar más en los "Layouts<sup>3.2</sup>", de ser posible por etapas con simulaciones en 4D y en vistas 3D.
- Al ser la mano de obra una de las partidas con mayor variabilidad, esta debe ser reducida a la mínima expresión.

<sup>3.2</sup> Término usado que hace referencia a la planificación y distribución en campo de recurso humano, maquinarias, actividades, etc.

- Orientarse a los equipos multifuncionales, tales como las Grúas Torre y otros.
- 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.
- Como en toda obra importante, se crea el área de equipos responsable de su mantenimiento.
- Uso de equipos que reemplacen trabajo contributivo de mano de obra.
- Uso de equipos que reemplacen trabajo productivo de mano de obra.
- Uso de equipos que nos permitan acceder a nuevos sistemas constructivos que disminuyan la mano de obra y puedan mejorar la mano de obra.
- Uso de sistemas constructivos que disminuyan la mano de obra.
- Uso masivo de prefabricados y pre armados fabricados fuera de obra.
- Aprovechar la oferta de equipos y sistemas constructivos en nuestro medio.
- 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.

### **3.2 ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS ACTUALES EN PERÚ**

Con la llegada de nuevas inversiones extranjeras al Perú, se produjo en paralelo la llegada de nuevas tecnologías, estas innovaciones principalmente fueron los equipos que hoy vienen formando parte de los proyectos de construcción en todo el país.

En el Perú se cuenta actualmente con gran variedad de equipos disponibles en el mercado para el sector de la construcción, de manera que también es necesario un análisis previo de los tipos de equipos a usar, la cantidad de equipos a usar y todo lo concerniente a una planificación acorde con el tipo de proyecto a ejecutarse.

En la actualidad se cuenta con una gran gama de equipos modernos, muchos de los cuales derivan de otros entornos de trabajo, por ejemplo las retroexcavadoras y camiones de carga usadas generalmente en el entorno minero, ahora también forman parte de equipos necesarios para obras civiles, específicamente para la partida de movimiento de tierra o excavación de grandes volúmenes de material.

#### **3.2.1 Tipos de equipos en obras de Edificaciones en Perú**

Actualmente se viene utilizando una gran variedad de equipos en obras de edificaciones en el Perú, las cuales se obtuvieron de otros



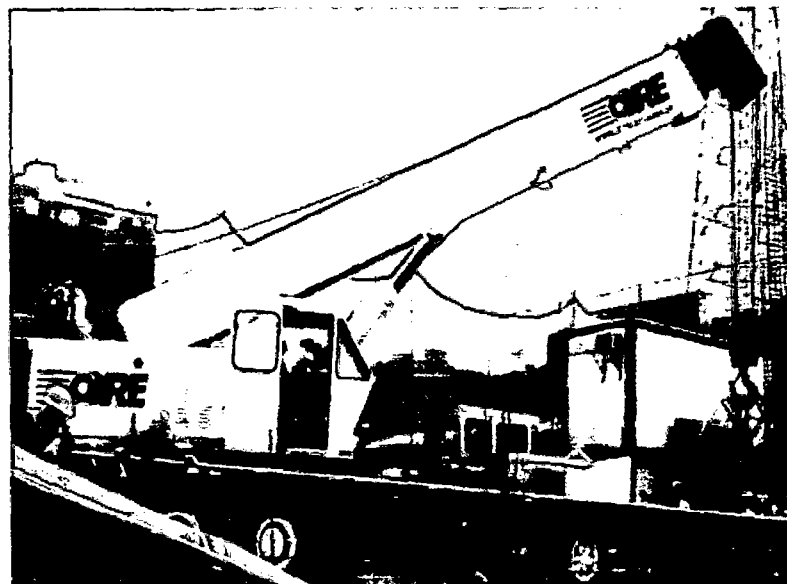
entornos de trabajo, quizás el entorno de trabajo del que más influencia de equipos se tiene sea el minero, ya que la actividad minera aquí es una de las actividades con mayor ámbito de trabajo.

A continuación se mostrarán algunos equipos modernos con los que se desarrollan muchas de las actividades en el proyecto en estudio.

### 3.2.2.1 Grúas Móviles

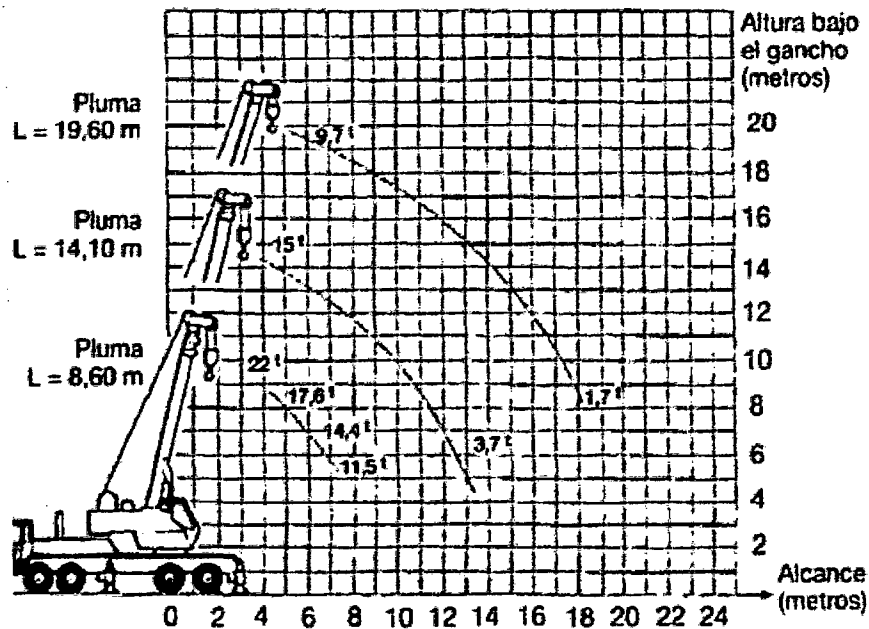
Son equipos grandes que pueden transportar grandes pesos (50Tn a 70Tn), tienen la ventaja de desplazarse libremente en cualquier dirección, de manera que tienen una utilidad muy grande. Entre los trabajos que realizan estos equipos tenemos como ejemplo el retiro de excavadoras, en el proyecto Universidad del Pacífico fue de mucha utilidad para realizar el montaje de la Grúa Torre MC115. En la figura N° 3.3 se observa una grúa móvil realizando trabajo provisional y en la figura N° 3.4 se muestra la influencia de la longitud e inclinación de la pluma sobre la carga.

Figura N° 3.3. Grúa Móvil.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

Figura N° 3.4. Influencia de la longitud y de la inclinación de la pluma, sobre la carga máxima.



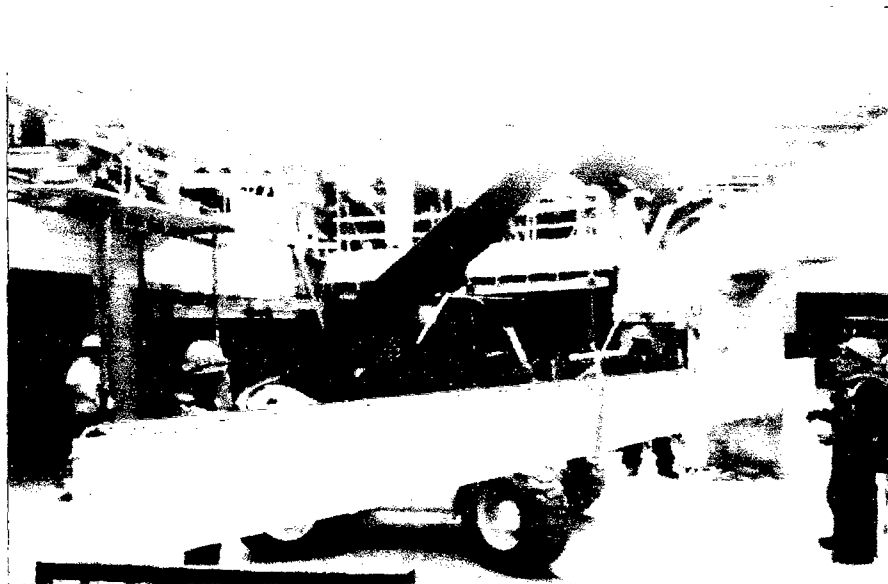
Fuente: [www.jmcpri.net](http://www.jmcpri.net)

### 3.2.2.2 Telescópico (Telehandler) y Mini telescópico (Mini telehandler)

Son equipos que sirven para transportar cargas medianas (2.5Tn a 3.5Tn), cuentan con la ventaja de la capacidad de desplazamiento en lugares cerrados, dado que suelen ser pequeños tienen la posibilidad de desarrollar muchos trabajos en zonas reducidas.

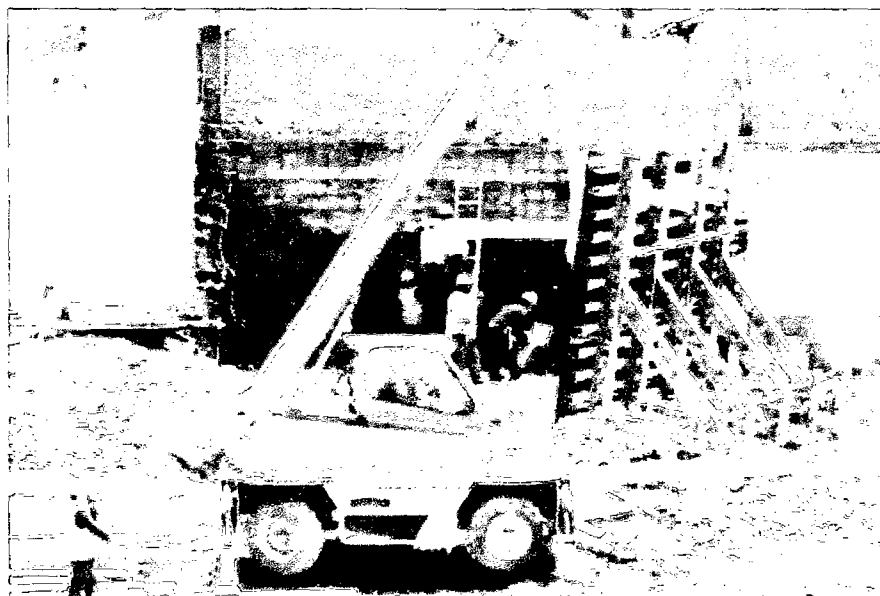
Se tienen dos variedades de telescópicos, uno de estos dos tipos son pequeños (Figura N° 3.5), a los que se les denomina mini telehandler; y el otro tipo se denomina propiamente telehandler (Figura N° 3.6), equipo que es más grande y por consiguiente tiene la capacidad de cargar más tonelaje.

Figura N° 3.5. Vista del Mini telehandler usado en obra.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

Figura N° 3.6. Vista del Telehandler en labores de traslado de encofrado.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

### 3.2.2.3 Grúas Torre MC 115 y MC85

Las Grúas Torre son equipos que cada vez más se vienen 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. La capacidad de carga de ambos tipos de grúa torre se observa en la tabla N° 3.1. En la figura N° 3.7 se observa las dos grúas torre usadas en el proyecto en estudio.

Tabla N° 3.1. Valores de capacidad de carga para las grúas torre usadas.

Tipo de grúa torre	Carga máxima (Tn)	Carga en punta (Tn)
MC 115	6	1.6
MC 85	5	1.3

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.7. Vista de las Grúas Torre MC 115 y MC 85.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

#### 3.2.2.4 Faja transportadora

Como su nombre lo señala, este equipo se encuentra compuesto por una faja deslizante, la cual transporta material que se obtiene del movimiento de tierras realizado con las excavadoras, en la figura N° 3.8 se observa la faja transportadora. En el proyecto se decidió usar este equipo por las ventajas de agilización en los trabajos que realiza, con un volumen promedio de material retirado de 1100 m<sup>3</sup>/día.

Figura N° 3.8. Vista de faja transportadora.

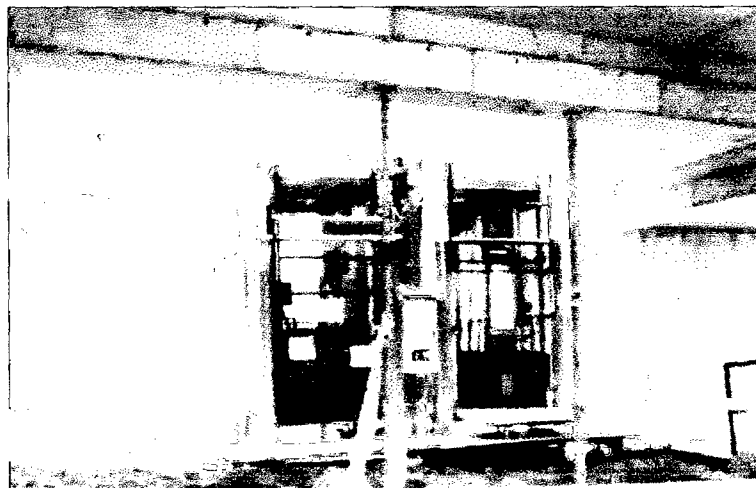


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

### 3.2.2.5 Elevador

Este equipo es similar a un ascensor mecánico, siendo un equipo muy útil para el transporte de personal (con capacidad de carga entre 1Tn a 3Tn), así como para el transporte de materiales de un nivel determinado de la construcción hacia otro de mayor nivel o de menor nivel, es decir su desplazamiento se desarrolla en forma vertical, en la figura N° 3.9 se aprecia dos de estos elevadores.

Figura N° 3.9. Vista de elevadores en uno de los sótanos.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

### 3.2.2.6 Brazo Hormigonador

Denominado de esa manera por la apariencia que posee, la cual simula un brazo, que precisamente tiene la virtud de ser desplegable. Este equipo se utiliza para el vertido de concreto en la construcción de diversos elementos estructurales proyectados en el diseño inicial, tal como se observa en la figura N° 3.10, en la que se puede apreciar el vertido de concreto en losas, y en la figura N° 3.11 se tienen las medidas. La capacidad de bombeo de este equipo es de 140 m<sup>3</sup>/día.

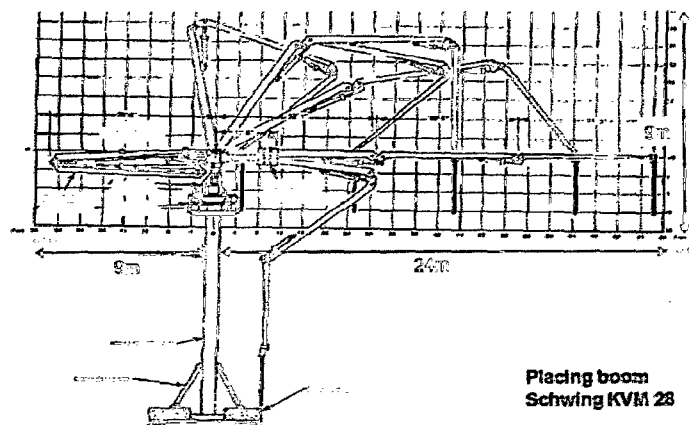
De esta manera este equipo se convirtió en uno de los equipos no convencionales debido al poco conocimiento de su uso, además de existir escaso recurso humano para operar este equipo.

Figura N° 3.10. Vista del brazo hormigonador extendido.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

Figura N° 3.11. Dimensiones del brazo hormigonador extendido.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

### 3.2.2.7 Cajas Ecológicas

Así denominamos a los recipientes que contienen y trasladan material de desperdicio (con capacidad de  $6.5\text{m}^3$ ), tales como remanentes de concreto, remanentes de madera, remanentes de acero, etc.; que se originan por los trabajos propios de obra. Estos recipientes se mantienen fuera de la obra (figura N° 3.12), y con ayuda de las Grúas Torre son ingresados hacia el lugar de recolección de los desperdicios.

Figura N° 3.12. Vista del traslado de las cajas ecológicas



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

### 3.2.2 Disponibilidad en el mercado 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. En cuanto al equipo en estudio se cuenta cada vez más con 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.

Se investigó en particular acerca del equipo en estudio (Tabla N° 3.2 y tabla N° 3.3), en cuanto a la disponibilidad de Grúas Torre en nuestro medio, esta ha ido en franco crecimiento, ya que hace 3 años había solamente alrededor de 60 Grúas Torre, pero en la actualidad se cuenta aproximadamente con 140 Grúas Torre.

Tabla N° 3.2. Estadísticas del Número de Grúas Torre en el Perú.

	2008	2009	2010	2011
Número de Grúas Torre	62	83	118	140

Fuente: GyM S.A.

Tabla N° 3.3. Estadísticas del Número de Grúas Torre en algunos países del Mundo.

	España	Chile	Perú
Número de Grúas Torre	25,000	900	140

Fuente: GyM S.A.

### 3.2.3 Ventajas del uso de equipos

Mediante el uso de equipos encontramos una buena lista de ventajas, los cuales van desde lo productivo hasta lo económico. Como se mencionó anteriormente, se podría evitar el riesgo de accidentes. A diferencia del recurso humano, las maquinarias continúan con el mismo ritmo, solamente se requiere un cierto periodo de mantenimiento nada más.

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



### 3.3 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 que ofrece 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 en referencias de aplicación para nuestra realidad nacional, con la finalidad de mejorar cada vez más los ratios de productividad en proyectos de construcción nacionales.

#### 3.3.1 Sistema de construcción con tecnologías de información BIM<sup>3.3</sup>

Se presenta este sistema como un sistema complementario al sistema de construcción enfocado en el uso de equipos, ya que resulta ideal para este tipo de trabajo en el cual se cuenta con muy poca mano de obra, debido principalmente a la escasez de mano de obra calificada.

Este sistema no solamente es un conjunto de modelos en 3D, sino que cada elemento modelado tiene propiedades especiales y se encuentra integrado al resto con una lógica establecida por parámetros ingenieriles.

##### 3.3.1.1 Realidad de la aplicación de tecnología BIM en E.U.A.

De las investigaciones desarrolladas, la realidad más práctica es la concerniente a los Estados Unidos de Norteamérica, país en el cual no solamente se usa la tecnología BIM, sino que allí se desarrolla la filosofía BIM en toda su dimensión.

Los proyectos de construcción son dirigidos desde las etapas iniciales por la filosofía BIM; es decir, desde el antes de la

---

<sup>3.3</sup>Building Information Modeling (BIM), filosofía basada en la integración de todos los involucrados sin excepción en un proyecto.

construcción ya se viene desarrollando la filosofía BIM, puesto que con las tecnologías de información BIM se elaboran maquetas virtuales, se obtiene con estas una gran herramienta para la aplicación de múltiples trabajos con la ayuda de dichas maquetas.

Del mismo modo esta tecnología BIM se puede usar en diferentes áreas de la industria de la construcción, ya sea para producción en campo, oficina técnica, área de calidad, área de seguridad, etc. En la figura N° 3.13 se observa un estadio deportivo modelado con un software BIM.

Figura N° 3.13. Estadio deportivo en E.U.A. modelado con BIM.



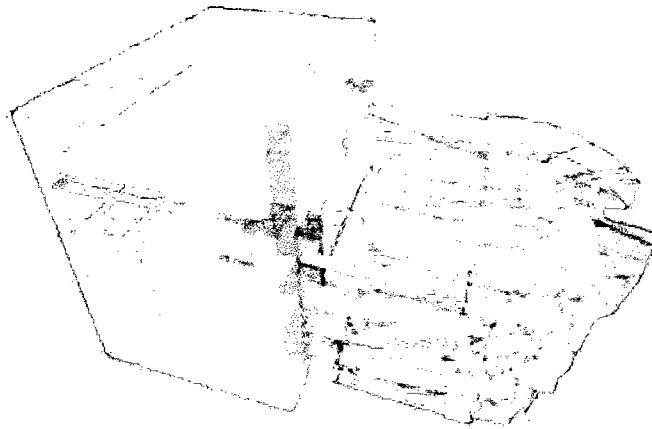
Fuente: Revista TC – Tecnología y Construcción

### 3.3.1.2 Aplicación BIM en el Perú

En nuestra realidad nacional este sistema se encuentra en sus inicios, actualmente viene creciendo gradualmente el número de proyectos que se encuentran implementando en su trabajo el BIM, específicamente en el uso de su tecnología de información, llámense softwares, en la figura N° 3.14 se aprecia la modelación de un proyecto con software BIM.

Pero en lo que respecta a la filosofía BIM, todavía queda mucho camino por recorrer para llegar a la aplicación de esta filosofía correctamente, de manera que se pueda aprovechar completamente todas las bondades que brinda.

Figura N° 3.14. Gran Teatro Nacional modelado con tecnología BIM.



Fuente: GyM S.A.

### 3.3.1.3 Tecnologías de información BIM para producción

La gran ventaja que posee esta tecnología de información 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.

### 3.3.2 Sistema de construcción enfocado en el uso de equipos

El tipo de sistema en el cual se encuentra inmerso el estudio que se realiza, nace como una necesidad de optimizar cada vez más los procesos en el sector de la construcción, tomando como modelos otros sectores como el industrial.

Un claro ejemplo de ello es la fabricación industrial automotriz, en la cual los procesos se encuentran conformados prácticamente en su totalidad por equipos; con la finalidad, como ya se dijo, de obtener un flujo continuo en los procesos, reduciendo los tiempos muertos y de esa forma reducir los plazos.

### 3.3.2.1 Realidad de la aplicación del uso de equipos en otros países

Como ya se mencionó anteriormente, este sistema de construcción no es una novedad en otros países; es más, la situación en otros países se percibe totalmente diferente, en esas realidades el uso de equipos en la construcción se lleva a cabo masivamente, tal como se aprecia en la figura N° 3.15.

Los países desarrollados son los que se encuentran a la vanguardia en el uso de este sistema, siendo justamente esos países las referencias para el resto de países en desarrollo.

Figura N° 3.15. Uso masivo de equipos en países desarrollados.



Fuente: GyM S.A.

### **3.3.2.2 Aplicación del uso de equipos para construcción en el Perú**

En nuestro entorno nacional este tipo de sistema se encuentra recién iniciándose, es decir; las empresas nacionales cada vez más deciden implementar este sistema en sus proyectos. El gran impulso del crecimiento económico ha permitido la introducción de este sistema en el sector de la construcción.

Otro factor importante para la introducción de este sistema, ha sido la instalación de empresas constructoras extranjeras en territorio nacional, quienes han traído consigo nuevas tecnologías de construcción. Estas empresas vienen impulsadas mayormente por inversiones extranjeras ya instaladas en el entorno nacional, las cuales acuden a sus compatriotas para desarrollar proyectos de construcción.

Asimismo, el impulso de este nuevo sistema de construcción ha sido producto de la importación de tecnología exterior, en beneficio de la mejora en el sistema de construcción nacional.

## **3.4 PLANEAMIENTO ENFOCADO EN EL USO DE EQUIPOS: CASO UNIVERSIDAD DEL PACIFICO**

En el proyecto “Edificio Educativo Universidad del Pacífico” estudiado, se organizó un planeamiento tomando como prioridad el uso de equipos, ésta es la razón por la que se dice que fue “enfocado” en el uso de equipos.

### **3.4.1 Datos del Proyecto Universidad del Pacífico**

#### **3.4.1.1 Generalidades del proyecto**

- Cliente: Universidad del Pacífico

- Área responsable: Oficina de Infraestructura de la U. del Pacífico.
- Supervisión y Gerencia: R. Ríos J. Ingenieros
- Proyectistas:
  - Arquitectura: Metrópolis
  - Estructuras: R. Ríos J. Ingenieros
  - IIEE, IISS y IIMM: Torres Ingenieros
  - Seguridad, Detección y Alarma: Engineering Services
  - Sistemas: Luis Llamosas
- Tipo de contrato: Suma alzada y llave en mano
- Monto: S/. 38'064,170.87 + IGV
- Plazo: 15 meses (Inicio: 17 nov. de 2,010 – Fin: 15 feb. de 2012). La inauguración del edificio está prevista para los 50 años de la Universidad.
- Contrato:
  - Contrato inicial: Estructura y parte de Arquitectura e Instalaciones.
  - Adenda: Se adjudicó el íntegro de los proyectos de Arquitectura (drywall, CW e iluminación exterior), Estructuras, Detección y Alarma contra Incendio, CCTV, Intrusión, Cableado Estructurado, Control de accesos, Control de Consumo de Agua.
  - Administración directa: Proyecto Acústico, Automatización e Iluminación, Equipamiento de

Cocina, Equipamiento Audiovisual, Equipamiento del Auditorio, Equipamiento de Mobiliario.

#### **3.4.1.2 Alcance del proyecto**

- Área del terreno: 2,000 m<sup>2</sup>
- Área techada: 17,682 m<sup>2</sup>
- Excavación: 46,284 m<sup>3</sup>
- Concreto: 8,935 m<sup>3</sup>
- Acero: 884,842 Kg
- Encofrado: 40,170 m<sup>2</sup>
- Anclajes: 212 ptos
- Niveles: 12 pisos (7 sótanos y 5 superiores)
- Altura: 7 sótanos(-26.15 m.) 5 superiores (25.27 m.)
- Post-tensado: 3,115 m

#### **3.4.1.3 Factores internos**

- 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 LEED.
- Propuesta técnica considera un plazo 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.

#### **3.4.1.4 Factores externos**

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

- Proyectos similares.

#### **3.4.1.5 Factores claves de éxito**

- 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, 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, papers.
- 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 sub contratistas, al sistema de gestión de GyM.

#### **3.4.1.6 Estrategia contractual**

- 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.
- Inducir que el Cliente, nos otorgue partidas claves, que serían asignada por administración.
- 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.

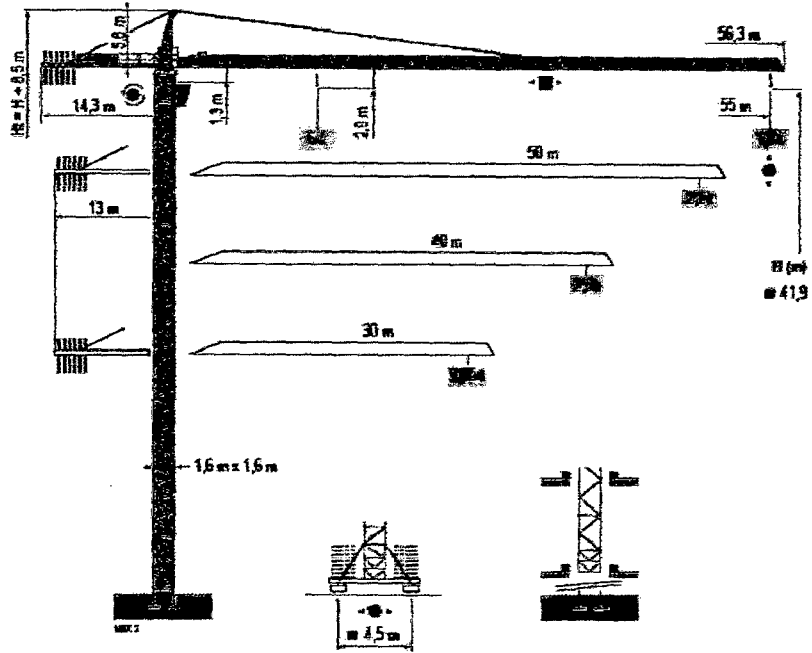
### 3.4.2 Elección de los tipos de Grúas Torre

La elección del tipo de Grúas Torre a usarse en este proyecto dependió en gran medida del layout de los trabajos que se pretendían realizar.

Otro factor importante significó el reducido espacio con el que se contaba para la ubicación, es decir las posibilidades de ubicar a las Grúas Torre resultaban siendo pocas.

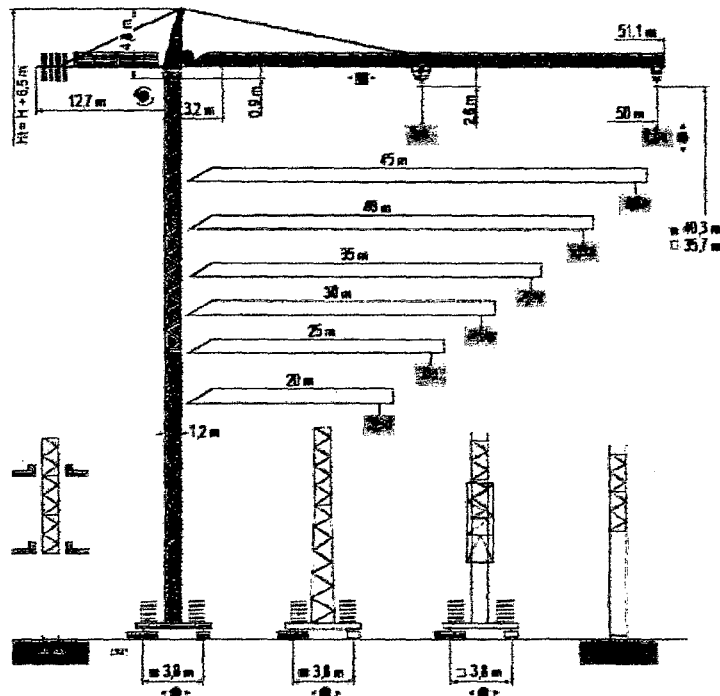
Por este motivo se seleccionaron las Grúas Torre MC 115 y MC 85, la Grúa Torre MC 115 fue montada con un sistema de empotramiento en su base, principalmente por el reducido espacio que existía en el lugar pre-destinado para su montaje, tal como se observa en la figura N° 3.16. De otro lado la Grúa Torre 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 N° 3.17.

Figura N° 3.16. Esquema de las características de la Grúa Torre MC 115.



Fuente: GyM S.A.

Figura N° 3.17. . Esquema de las características de la Grúa Torre MC 85.



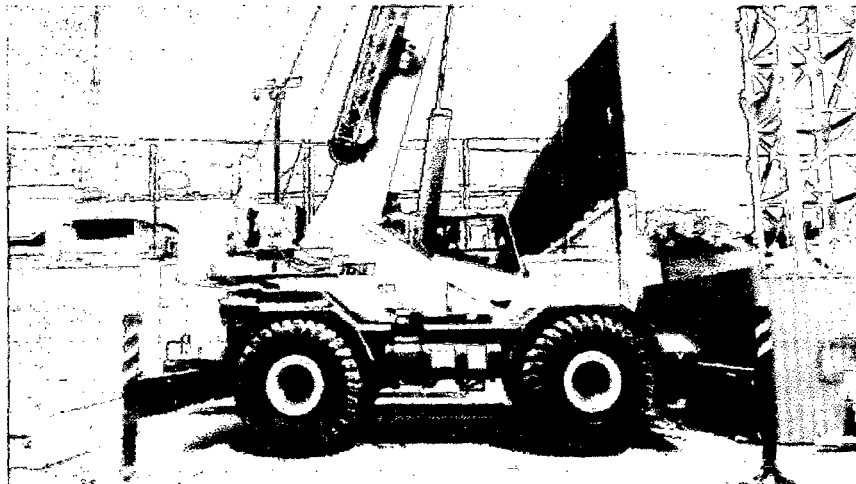
Fuente: GyM S.A.

### 3.4.3 Equipos de izaje para periodos de pre y post Grúa Torre

Para el montaje de la Grúa Torre 1 se requirieron de Grúas móviles, ya que el peso de cada parte de la Grúa Torre 1 así lo ameritaba. No siendo el mismo panorama para el montaje de la Grúa Torre 2, proceso en el que solamente se hizo uso de la Grúa Torre 1 para el montaje de la Grúa Torre 2. En la figura N° 3.18 se aprecia la grúa móvil utilizada para el montaje de la grúa torre 1.

Las denominaciones escritas, tal como el de pre Grúa Torre se hace referencia a un periodo anterior al montaje de la Grúa Torre 1, y el de post Grúa Torre se referencia al desmontaje de la Grúa Torre 1.

Figura N° 3.18. Grúa móvil para montaje de Grúa Torre 1.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

### 3.4.4 Excavación profunda 7 sótanos

#### 3.4.4.1 Equipos utilizados en esta etapa

La puesta en marcha del uso de equipos, se inició con los trabajos de excavación para la construcción de los sótanos. El planeamiento de los trabajos en esta etapa se plasmaron en los layouts, dentro de este planeamiento se contempla el uso de excavadoras, fajas transportadoras y volquetes como los equipos motores de este trabajo; pero también tenemos otros

equipos complementarios como las Grúas Torre, los telehandlers, etcétera, en la figura N° 3.19 se observa varios de los equipos mencionados.

Figura N° 3.19. Vista de principales equipos usados en la excavación.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

#### **3.4.4.2 Beneficios del uso de equipos**

En lo que respecta al uso de las fajas transportadoras, estos equipos aumentaron la productividad de los trabajos en el movimiento de tierras, por lo que asimismo disminuirán el tiempo de realización de los trabajos de esta partida y dado que el plazo de finalización de la obra es apretada se decidió utilizarlas.

#### **3.4.4.3 Desarrollo de actividades con equipos para esta fase**

El desarrollo de las actividades para la etapa de excavación se basó completamente en el uso de equipos, de manera que el recurso fundamental usado en esta fase son las maquinarias.

Las maquinarias, anteriormente mencionadas; tales como las fajas transportadoras se usaron finalmente en un número de dos, ya que conforme se avanzaba con la excavación, la altura de la profundidad iba aumentando.

De manera paralela a la excavación se realizaban otras actividades con las Grúas Torre, entre esas actividades que se desarrollan con las Grúas Torre se tiene el traslado de encofrado para los muros pantalla, siendo este un frente a lo largo de todo el perímetro de la obra y para 7 niveles consecutivos, del mismo modo al término del último nivel se desarrollaron trabajos de inicio de la estructura, con traslados de acero pre-armado, encofrados, prelosas, etc.

### **3.4.5 Estructura 12 niveles**

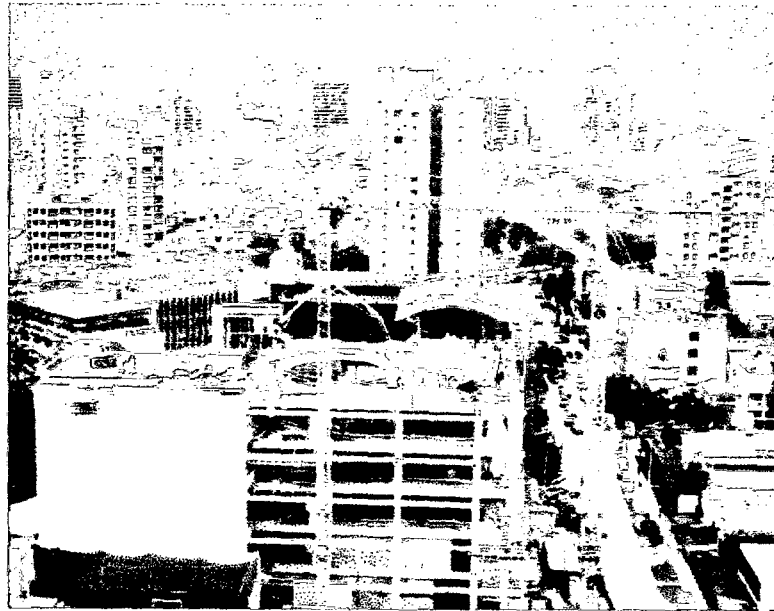
La estructura del proyecto estaba conformada por 7 sótanos estructurales y 5 pisos más de la torre. Para esta etapa de la construcción de la estructura se utilizaron una variedad de equipos, los cuales veremos a continuación.

La etapa estructural se inició tan pronto se abrió frente en un sector del último nivel de excavación, de manera que se desarrollaban trabajos de estructura paralelos a los trabajos finales.

#### **3.4.5.1 Equipos utilizados en esta etapa**

Para la etapa de construcción de la estructura de 12 niveles los principales equipos fueron la Grúa Torre 1 y Grúa Torre 2 del tipo MC115 y MC85 respectivamente; además se usaron otros equipos complementarios tales como el brazo hormigonador, los dos elevadores, mini telehandler (Peso: 3.5 Ton), bob cat (Peso: 3.5 Ton), rodillo (Peso: 2.5 Ton), etc. En la figura N° 3.20 se aprecian los equipos usados en la etapa estructural.

Figura N° 3.20. Vista de equipos usados en la fase estructural.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico, GyM S.A.

#### **3.4.5.2 Beneficios del uso de equipos**

Uno de los muchos beneficios obtenidos con el uso de estos equipos fue la mejora en el flujo de procesos que producían estos 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 los equipos.

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

#### **3.4.5.3 Desarrollo de actividades con equipos para esta fase**

Las actividades se desempeñaron principalmente en trabajos de traslado de materiales, ya sea en beneficio del desarrollo

de trabajos constructivos o en el desarrollo de trabajos provisionales.

Esta fase requería de una dinámica continua, de manera que las actividades que se realicen se encuentren realizándose con un buen ritmo de avance.

Los trabajos desarrollados por las Grúas Torre se profundizarán más en el capítulo IV correspondiente a la planificación de actividades con dos Grúas Torre.

## CAPÍTULO IV: PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES CON DOS GRÚAS TORRE

Para que se logre alcanzar una correcta eficiencia en los trabajos que desarrollarán las Grúas Torre es necesaria una planificación de todas las actividades que incurrirán en el uso de estas maquinarias.

En la obra del edificio de la Universidad del Pacífico se dispuso del uso de las Grúas Torre como parte complementaria para el desarrollo eficaz y continuo de la obra, el trabajo de los carguíos se ve enormemente beneficiado con el uso de estas máquinas. La mano de obra, algunas veces ineficaz, es reemplazada casi completamente (aproximadamente 98%) por las Grúas Torre, puesto que todavía hay actividades en las cuales la mano de obra forma parte (traslados de poco material con distancias de recorrido muy cortas, materiales de poco peso, etc.), pero que no llegan a significar un desperdicio de tiempo grande.

### 4.1 USO DE HERRAMIENTAS BIM EN LA PLANIFICACIÓN

Uno de los principales intereses del equipo de producción era el de simular situaciones posteriores previstas en la planificación, debido a esto se usaron tecnologías de información BIM (Autodesk Revit Architecture 2011, Navisworks Manage 2011 y Autodesk Revit MEP 2011), al mencionar "situaciones posteriores" se hace referencia a problemas, interferencias, incompatibilidades, 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 facilitó las detecciones de las situaciones mencionadas, las cuales no hubieran sido 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. Es así que en el proyecto en estudio se desarrolló un plan piloto para la implementación de



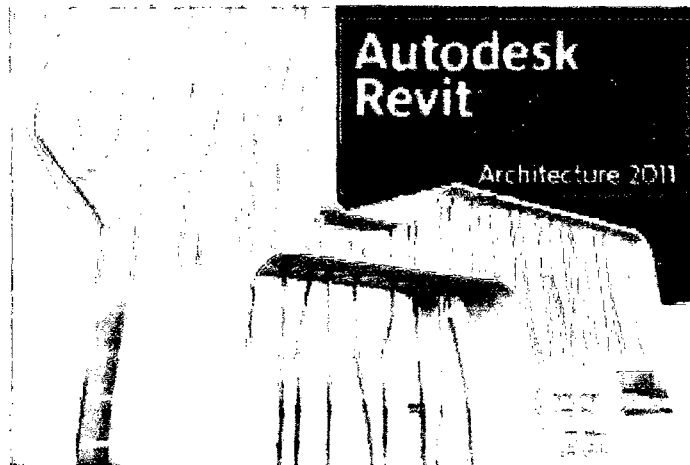
esta tecnología en las oficinas del proyecto. El plan piloto consistió en los siguientes puntos:

- Se obtuvo el modelo de la edificación del proyecto con el software Autodesk Revit Architecture 2011, elaborado por una empresa consultora chilena, el cual sería utilizado en la etapa constructiva del proyecto.
- El modelo de la edificación se utilizó en las reuniones internas entre los especialistas, en las reuniones con los contratistas, en las reuniones con el cliente y en cada una de las reuniones llevadas a cabo.
- Se realizaron simulaciones de situaciones posteriores con el software Navisworks Manage 2011, elaborado por personal de la oficina técnica de la empresa ejecutora de la obra.
- Se realizaron simulaciones de situaciones posteriores con el software Navisworks Manage 2011, elaborado por personal de la oficina técnica de la empresa ejecutora de la obra.
- Entre las simulaciones desarrolladas se gestaron la simulación del desfase de la altura entre las Grúas Torre, la simulación del proceso de llegada de los camiones de carga con las prelosas para el traslado y colocación respectivo con la Grúa Torre 1; asimismo la simulación de carga y la colocación del acero pre-armado para columnas, desde la zona asignada para la habilitación del acero pre-armado.

La aplicación de estas tecnologías de información BIM en este piloto desarrollado definitivamente fue un acierto, puesto que fue muy útil por los beneficios mencionados anteriormente, pero dado que solamente se aplicó para la etapa de construcción, no se pudo aplicar en toda su dimensión.

En el presente estudio se utiliza la gama de funciones de las tecnologías de información BIM, aplicadas al desarrollo de la planificación con Grúas Torre, estas tecnologías de información mencionadas son Autodesk Revit Architecture 2011 (figura N° 4.1) y Navisworks Manage 2011.

Figura N° 4.1. Herramienta principal usada con el BIM.



Fuente: Autodesk

## 4.2 ELABORACIÓN DE LAYOUTS

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, en este estudio se utilizará tecnología de información BIM para la elaboración de los Layouts, mencionados en el acápite anterior. 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).

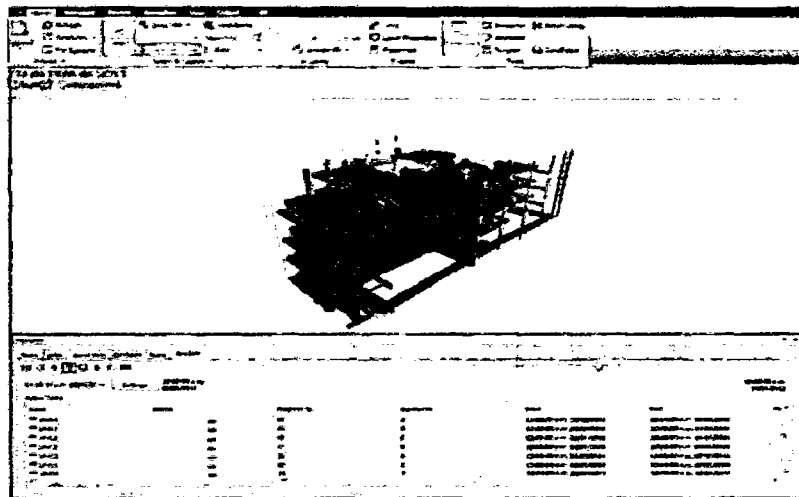
#### 4.2.1 Layout para los trabajos constructivos

Se realizó el Layout mediante el software Navisworks, herramienta mediante la cual se elaboró una simulación 4D (figura N° 4.2), la cual muestra el avance programado de cada uno de los trabajos constructivos, de manera general, sin interacción de las Grúas Torre.

Además se realizó otro Layout de los trabajos constructivos interactuando con las Grúas Torre, en el cual se simula los trabajos constructivos realizados por las Grúas Torre.

Con la elaboración de Layouts con herramientas BIM, se tiene la ventaja de identificar problemas con anterioridad a la fecha programada para el trabajo en obra, en alguna actividad próxima a realizarse.

Figura N° 4.2. Simulación BIM – 4D del proceso constructivo del edificio.

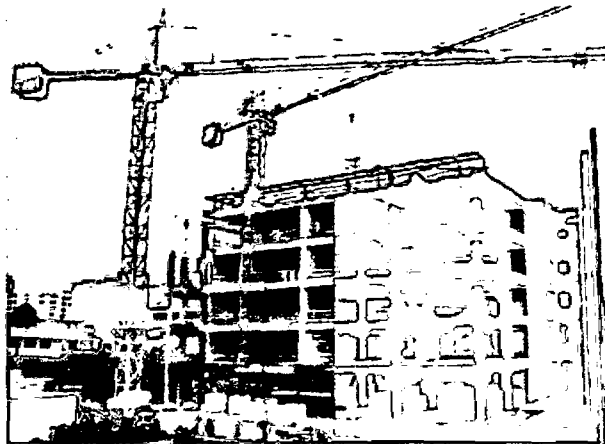


Fuente: Proyecto Educativo "Universidad del Pacifico".

#### 4.2.2 Layout para los trabajos provisionales

El otro tipo de trabajo que se realiza con las Grúas Torre es la cooperación con el traslado y colocación de maquinarias, materiales, contenedores (containers) y otros elementos más, los cuales se caracterizan por aportar provisiones para que se lleven a cabo los procesos constructivos, como se aprecia en la figura N° 4.3.

Figura N° 4.3. Simulación BIM del trabajo provisional de traslado de albañilería.



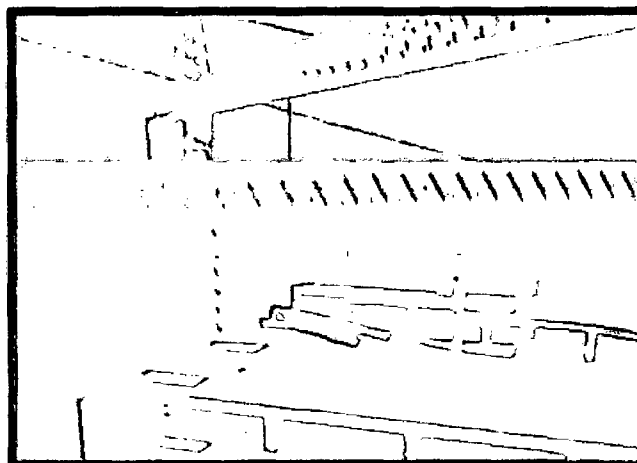
Fuente: Proyecto Educativo "Universidad del Pacífico".

#### 4.2.3 Layout para el montaje y desmontaje

El Layout para el procedimiento del montaje se desarrolló con el software Navisworks 2011, en el cual se realizó una simulación del planeamiento realizado acerca de procedimientos de montaje y desmontaje de algunos equipos, como por ejemplo el desmontaje del brazo hormigonador..

Asimismo el Layout para el desmontaje se elaboró con el mismo software, realizándose la simulación del planeamiento realizado, en la figura N° 4.4 se puede apreciar el layout para el desmontaje del brazo hormigonador.

Figura N° 4.4. Simulación BIM del desmontaje del brazo hormigonador.

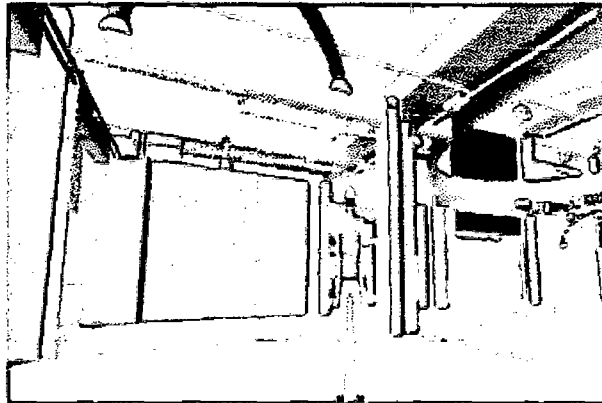


Fuente: Proyecto Educativo "Universidad del Pacífico".

#### 4.2.4 Layout para la seguridad

El Layout para la seguridad se enfocó principalmente en realizar un conjunto de recorridos virtuales con el software Navisworks, de manera que se ubicaban todos los posibles peligros que se podrían presentar tanto para la etapa de construcción como para la etapa de funcionamiento, en la figura N° 4.5 se observa un recorrido virtual utilizado en la obra para detectar zonas de peligro para los trabajos a desarrollarse en la etapa de instalaciones. Asimismo se pudieron realizar Layouts de señales de escape en caso de sismos con ayuda del software Revit Architecture.

Figura N° 4.5. Simulación BIM de recorrido virtual para señalar zonas de peligro.



Fuente: Proyecto Educativo "Universidad del Pacífico".

### 4.3 PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS CONSTRUCTIVOS

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, asignaciones de trabajo para cada una de ellas, distribución de sectores para el trabajo de cada una, tiempos efectivos de trabajo (tiempos productivos, tiempos contributorios).

#### 4.3.1 Distribución de sectores para el trabajo

Para el armado del planeamiento de obra se planteó sectorizar el área total de trabajo, dividiéndolo en 5 sectores, de manera que se forme un "tren de actividades", entendiéndose 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, iniciando por el vagón de comando central, de la misma manera se planificó para el proyecto en mención, iniciándose con los elementos verticales (encofrado, reforzado y vaciado de columnas) que darían paso a los elementos horizontales (encofrado, reforzado, vaciado de vigas y posteriormente prelosas).

En la figura 4.6 observamos la secuencia del “tren de actividades”, la cual se 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.

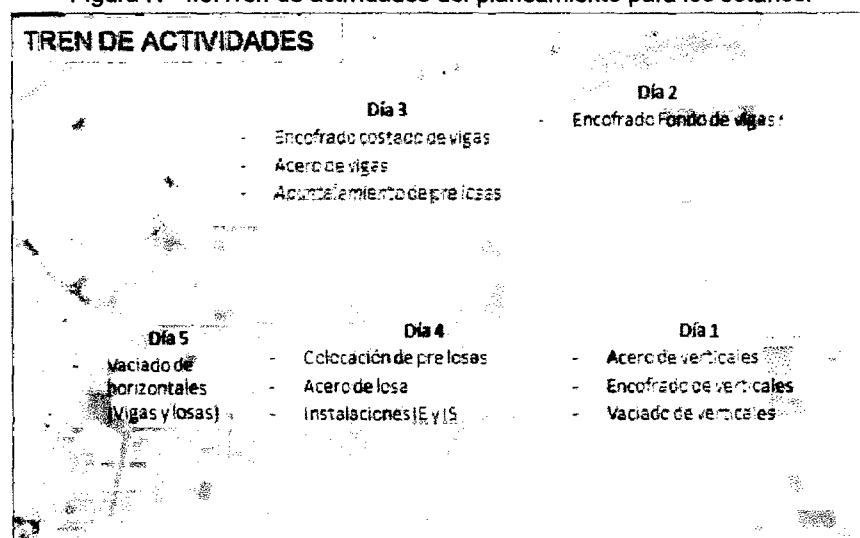
El siguiente “vagón” del tren nos lleva al sector azul, nombrado Día 2, que solamente destaca una actividad primordial: encofrar el fondo para las vigas de amarre correspondientes, en este vagón solo se considera esta actividad debido a la complejidad de la colocación de dicho encofrado, puesto que este 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 prelosas, colocación de acero de refuerzo en las prelosas 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 prelosas principalmente.

Figura N° 4.5. Tren de actividades del planeamiento para los sótanos.



Fuente: Paper GyM S.A.

Es así que para la planificación de los trabajos de las Grúas Torre, se tomó en consideración esta división de sectores para el “tren de actividades” del proyecto, planificación de la cual surgió el “plan de uso de grúas”, consistente en una programación horaria de los trabajos a desarrollar por los equipos en los diferentes sectores existentes, obviamente considerando las actividades más restrictivas en las cuales se tiene que enfocar la mayor cantidad de tiempo.

Todo este planteamiento es adecuado para las plantas de todos los sótanos, los cuales son 7 en total. Es decir, la división en 5 sectores del área total para conformar el tren de actividades, solo era extensivo

para la parte constructiva de los sótanos. Para los pisos superiores de la construcción, llámese desde el piso 1 hasta el piso 5, se realizó 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 cuatro sectores (figura N° 4.6).

Como se mencionó anteriormente la concepción fue similar al trabajo desarrollado en las plantas de los sótanos, con la excepción de que en la Torre se cuenta con el sector 4, en el que se tenía proyectado la construcción de las aulas magnas y una parte de la torre.

Los trabajos en la zona de las aulas magnas se debían realizar independientemente del resto de sectores, ya que esta zona requería de trabajos totalmente diferentes al resto de sectores, como por ejemplo, dentro de esos trabajos se encuentra el armado de los niveles para las aulas magnas.

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.

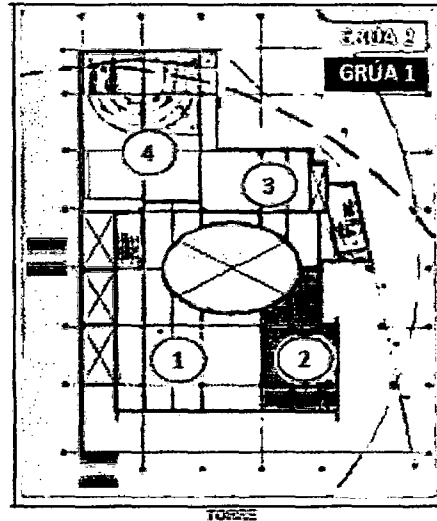
El vagón correspondiente al sector 2 se destina a trabajos con elementos horizontales, colocación de fondo de viga, colocación de aceros para viga y encofrados de costado de vigas.

El sector 3 con su vagón destinado a trabajos de colocación de prelosas, apuntalamiento de prelosas, 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.

Figura N° 4.6. Tren de actividades del planeamiento para la Torre.



Fuente: Paper GyM S.A.

#### 4.3.2 Cronograma de trabajos de las Grúas Torre

Para el caso del proyecto 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.

La Grúa Torre 1 en el horario de la mañana (tabla N° 4.1) tenía como actividades principales:

- El traslado de acero para vigas para el montaje respectivo de la misma.
- Traslado de puntales para el apuntalamiento de las prelosas.

La Grúa Torre 2 en el horario de la mañana (tabla N° 4.2) tenía como actividades principales:

- El traslado de encofrado de vigas, correspondiente al encofrado de fondo de viga y encofrados laterales.
- El traslado de desencofrado de vigas, actividad que se realiza después del vaciado de las vigas.
- El traslado del desencofrado de columnas y placas.
- Traslado y colocación del acero de columnas y placas.
- El traslado de acero pre-armado para columnas y placas.

En el horario de la tarde, la Grúa Torre 1 tenía como actividades (tabla N° 4.1) principales:

- Traslado de prelosas para colocación.
- Traslado de acero para losas.

La Grúa Torre 2 en el horario de la tarde (tabla N° 4.2) tenía como trabajos más importantes:

- Traslado de puntales para el des-apuntalamiento de las prelosas.
- Traslado del encofrado de columnas y placas.

Cabe mencionar que dichas actividades variaban, debido principalmente a los retrasos de algunos procedimientos previos. Por ejemplo en el proceso de colocación de las prelosas, se demoró este proceso debido a que no se había medido con anticipación el tamaño correcto de las prelosas 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, para comprobar esta afirmación se realizaron Cartas Balance en base a muestreos realizados en campo. Posteriormente en el capítulo de Análisis de la Productividad de las Grúas Torre se ahondará sobre el cronograma de trabajos de estos equipos, por ahora solo se menciona un cronograma tentativo a rasgos generales de la etapa de

construcción de la estructura de la edificación (7 sótanos y 5 niveles superiores).

Tabla N° 4.1. Día típico – Grúa Torre 1.

MAÑANA	1	Montaje de Acero vigas
	2	Apuntalamiento prelosas
TARDE	3	Colocación prelosas
	4	Acero losa

Fuente: GyM S.A.

Tabla N° 4.2. Día típico - Grúa Torre 2.

MAÑANA	1	Encofrado vigas
	2	Desencofrado vigas
	3	Desencofrado columnas y placas
	4	Acero columnas y placas
TARDE	5	Desapuntalar prelosas
	6	Encofrado columnas y placas

Fuente: GyM S.A.

Una observación importante que mencionar es acerca de las restricciones que tuvieron las Grúas Torre en la asignación de los trabajos, es decir las Grúas Torre solo estaban limitadas a realizar trabajos en el casco de la obra, entendiéndose como casco de la obra a la zona externa superior de la construcción, la cual tiene libre acceso por medio del “espacio aéreo” de la construcción. Con esto se entiende que los trabajos que se tenían que realizar en niveles por debajo del casco de la obra no los podían realizar las Grúas Torre, puesto que no había manera que la Grúa Torre pueda descargar exactamente en el lugar requerido.

En este tipo de trabajo se utilizaba otro equipo, este equipo utilizado se denomina "elevador", el cual tenía como funciones realizar traslado de materiales para acabados y personal, se contaban con dos elevadores en la obra, ellos estaban ubicados en la misma zona contigua a la entrada de la obra. A diferencia de la Grúa Torre este equipo solo podía realizar trabajo contributivo (TC), pero no trabajo productivo (TP), pues para este caso era la forma más favorable de evitar tiempos no contributivos (TNC). El proceso para esta actividad era cargar manualmente material en el elevador y seguidamente trasladar el material hasta el punto a necesitarse. Como se mencionó el uso de las Grúas Torre solo se restringió a los montajes y traslado de material necesario para el casco y fue necesario el uso de elevador para agilizar los trabajos en los sótanos.

#### 4.3.3 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:

- Las prelosas (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)

#### 4.3.4 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.

Es así que en la distribución del área de todo el proyecto se tiene en total 3 zonas de carga. Como observamos en la figura adjunta, (Figura N° 4.7) la zona de carga 1 corresponde a todo el frente del área de construcción (contigua a la calle), de manera que la Grúa Torre 1 es asignada para esta zona. En la figura N° 4.7 se aprecia que esa zona es la que posee la mayor dimensión en cuanto a longitud. La zona de carga 2 corresponde a zona lateral respecto al área de construcción (lado izquierdo al ingresar a la obra), dicha zona es asignada a la Grúa Torre 2.

Cada una de estas zonas de cargas son asignadas 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

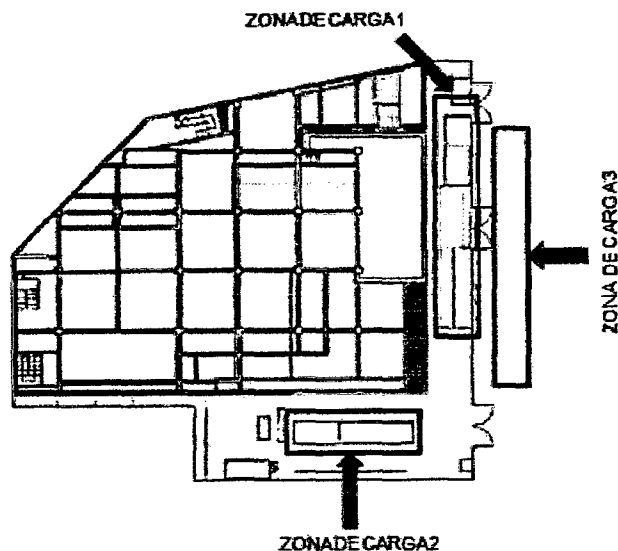
La zona de carga 2 es exclusiva para el almacenamiento de varillas de acero, con la finalidad de que se pueda realizar el pre-armado de las

mallas de las vigas pre-armadas y de las columnas pre-armadas respectivamente. Esta zona es asignada a la Grúa Torre 2 (MC85), 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. 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 (prelosas). 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:

- Prelosas
- Varillas de acero
- Encofrados
- Madera
- Soportes para puntales

Figura N° 4.7. Zona de acción de las grúas torre.



Fuente: Paper del Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### **4.4 PLANIFICACIÓN DEL MONTAJE Y DESMONTAJE**

Los procedimientos de planificación para el montaje y desmontaje de cada una de las grúas torre se explicará separadamente, debido a que se detalla con varios detalles que caracterizaron a cada uno de los procedimientos.

##### **4.4.1 Criterio de ubicación para el montaje de la Grúa MC 115**

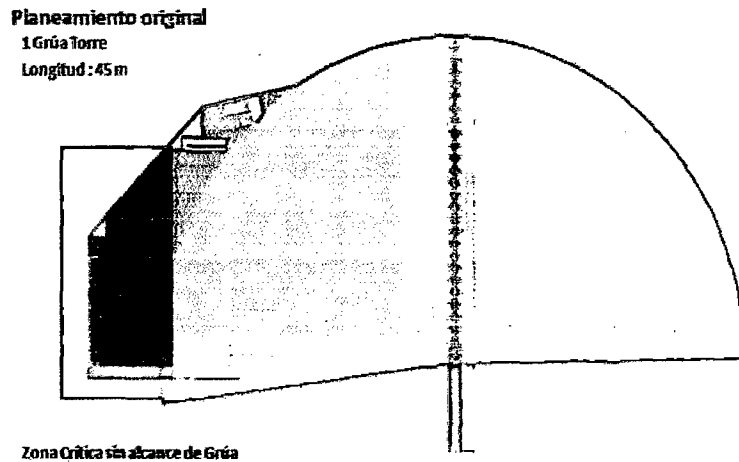
De acuerdo al layout, este mandaba a que se monte la Grúa Torre MC 115 en las postrimerías de la zona de carga 1, específicamente en la esquina contigua a la rampa que se dirige hacia los sótanos.

Uno de los principales motivos para el montaje de la Grúa Torre MC 115 en dicho punto era la falta de espacio para poder montarla en cualquier otro punto frente a lo largo del perímetro de todo el área de construcción, es decir que el único frente utilizable para dicho fin era el que se encontraba contiguo a la Calle Sánchez Cerro.

Además, dicha zona tenía que ser utilizada como zona de carga y acopio, pero no se la iba a poder utilizar como zona de pre-fabricación de aceros. Es decir, gran parte de toda esta área debía ser usada para almacenar una gran variedad de materiales, de manera que cuando se requiera de algún material, la Grúa Torre 1 se encargue del traslado al lugar solicitado.

Al ubicarse la Grúa Torre 1 en la zona señalada se abarca toda el área mostrada en la figura N° 4.8. De la figura se observa que la Grúa Torre 1 no abarca toda el área de la obra en construcción, más aún existiendo justamente en esa zona un área de trabajo crítico. Esa zona crítica tiene como principal labor la construcción de las aulas magnas, ambientes que deben seguir un ritmo de trabajo constante, es decir era necesario el uso de una Grúa Torre en esta zona, de manera que resulta insuficiente el montaje de solo la Grúa Torre 1.

Figura N° 4.8. Planeamiento original con la grúa torre 1.



Fuente: Paper del Proyecto U. del Pacífico – GyM S.A.

#### 4.4.2 Criterio de ubicación para el montaje de la Grúa MC 85

Los criterios de ubicación de la Grúa Torre MC 85 o Grúa Torre 2 fueron principalmente para abarcar los “frentes críticos” de trabajo. Los referidos “frentes críticos” de trabajo se refieren principalmente a la zona de las aulas magnas y zona del auditorio, zona a la cual no se abarcaba con la Grúa Torre MC 115.

Se contaba con una ventaja muy importante para el montaje de la Grúa Torre 2 o Grúa MC 85, esa ventaja se refiere a la posibilidad de realizar el montaje con ayuda de la Grúa Torre MC 115, de manera que se echó mano de la Grúa Torre 1, facilitando el montaje de la Grúa Torre 2, ya que no se necesita grúas móviles, tal como sucedió con la Grúa Torre 1.

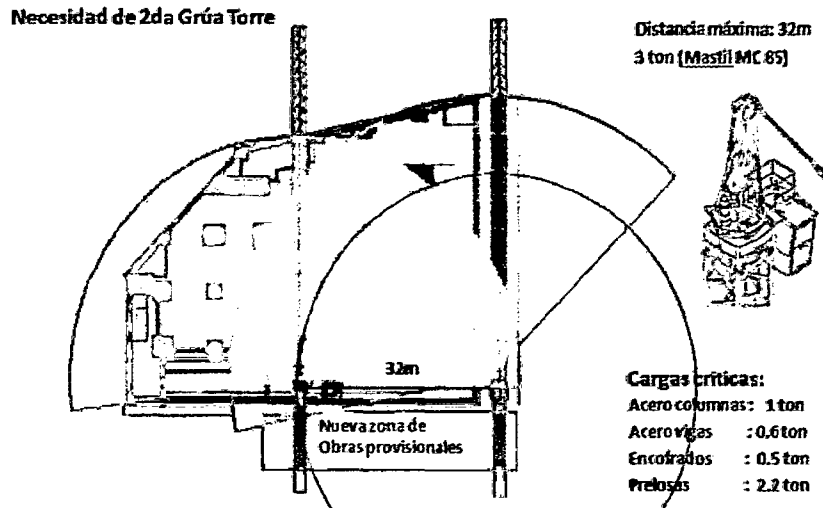
Además el elemento más pesado de la Grúa Torre MC 85 (mástil) determinó la distancia de montaje de la misma (32 metros), debido a la capacidad de carga para esa distancia de la Grúa Torre MC 115 (3 Ton), como se aprecia en la figura N° 4.9.

También se realizó el montaje de la Grúa Torre 2 por razones de apoyo en la fase de excavación, para el apoyo en la construcción de muros pantalla conjuntamente con otros equipos, tales como las



excavadoras y los telehandlers; de manera que se inició trabajos con la Grúa Torre 2 desde la fase de excavación y se proyectó su uso hasta la etapa de finalización del casco de la edificación.

Figura N° 4.9. Planeamiento incluyendo la grúa torre 2.



Fuente: Paper del Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### 4.4.3 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. Como el alquiler de estos equipos es carísimo (US\$ 24/hora la Grúa Torre MC115 y US\$ 20/hora la Grúa Torre MC85), este criterio resulta siendo importante para bajar los costos.

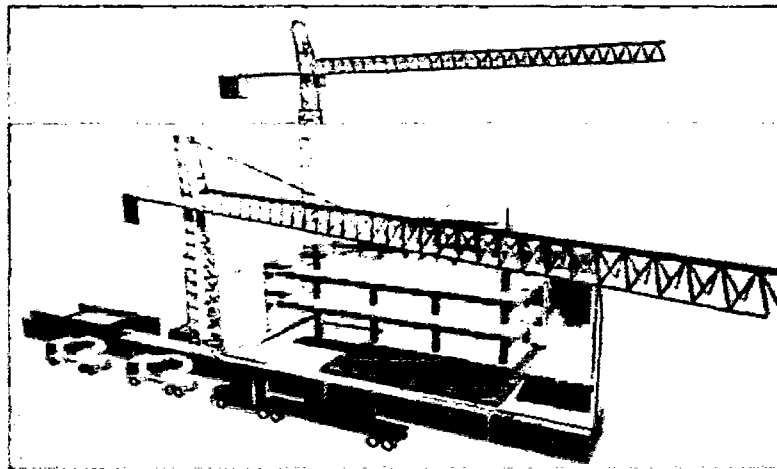
Si se tiene al frente la construcción de una edificación de gran altura, se requiere contar con una Grúa Torre de mayor altura que la estándar, para lograr ello es necesario realizar un procedimiento especial, al cual se le denomina telescopaje; dicho procedimiento se verá en el acápite siguiente.

En la experiencia del Proyecto Universidad del Pacífico las alturas para la Grúa Torre MC85 y Grúa Torre MC115 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 MC85 o denominada también Grúa Torre 2.

Para el caso del proyecto en estudio, la Grúa Torre MC85 debía tener una mayor altura que la Grúa Torre MC115, debido a que la ubicación de la Grúa Torre MC115 permitía tener acceso rápido a la zona de carga 3, zona a la cual llegaban prelosas, y de igual manera la ubicación de la Grúa Torre MC85 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 (figura N° 4.10).

Figura N° 4.10. Vista de la distribución de alturas de las dos grúas torre.



Fuente: Paper del Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### 4.4.4 Telescopaje de grúas

Al procedimiento de anexar más cuerpos a la Grúa Torre, de manera que estos cuerpos aumentan el nivel del brazo palanca de la grúa Torre; se le llama "telescopaje de Grúa Torre". Este procedimiento es necesario al tenerse que aumentar el nivel de los brazos palancas o

llamadas también plumas de las Grúas Torre, debido a que el edificio en construcción se va erigiendo cada vez más.

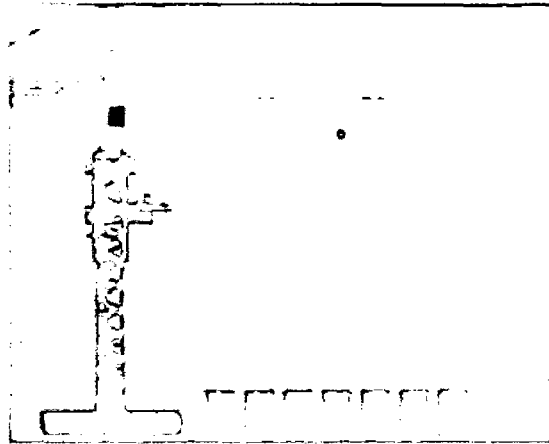
Se realizó el planeamiento para este procedimiento con ayuda de la experiencia de la empresa contratista de las Grúas Torre, dado que además dicha empresa cuenta con los equipos necesarios para tal procedimiento.

El procedimiento del telescopaje desarrollado en el proyecto en estudio se describe a continuación:

- Inicialmente se trasladarán los nuevos cuerpos de la Grúa Torre que serán anexados a una zona accesible para que sean trasladados de manera rápida (figura N° 4.11).
- El gancho de carga de materiales de la Grúa Torre se reemplazará por el gancho de traslado de los cuerpos de la Grúa Torre.
- Con la ayuda del brazo palanca y el nuevo gancho de la Grúa Torre se procederá al traslado del nuevo cuerpo hasta un nivel que permita colocar el nuevo cuerpo en su lugar final.
- Por facilidad para la colocación del nuevo cuerpo se coloca un soporte enganchado a la torre, la cual sostiene el nuevo cuerpo hasta el momento de su colocación final (figura N° 4.12).
- El equipo de trabajo de este procedimiento realizará el despemado de los cuerpos entre los cuales ingresará el nuevo cuerpo.
- Con ayuda de una máquina mecánica amortiguadora (tipo gata) se procede a la elevación del cuerpo superior desenganchado anteriormente.

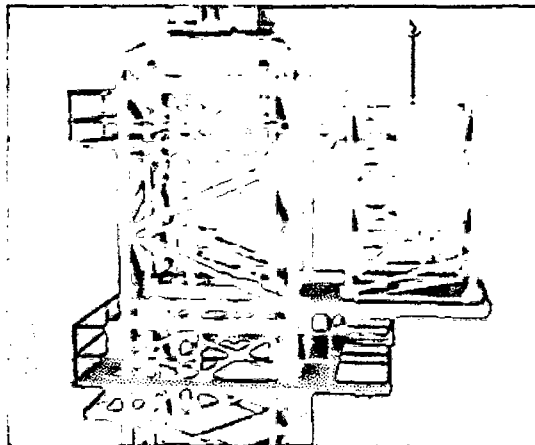
- Con la ayuda del soporte móvil que sostiene el nuevo cuerpo, se desplaza dicho cuerpo hacia su ubicación final.
- Una vez colocado el nuevo cuerpo en su ubicación final se procederá al aseguramiento de este mediante los pernos, tanto al cuerpo superior como al inferior.
- Finalmente se retirará la máquina amortiguadora, puesto que ya el nuevo cuerpo fue asegurado correctamente, si se van a colocar más cuerpos, se procederá de manera similar.

Figura N° 4.11. Vista de traslado de nuevos cuerpos para el telescopaje.



Fuente: Paper del Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

Figura N° 4.12. Vista del nuevo cuerpo posicionado para ser colocado.



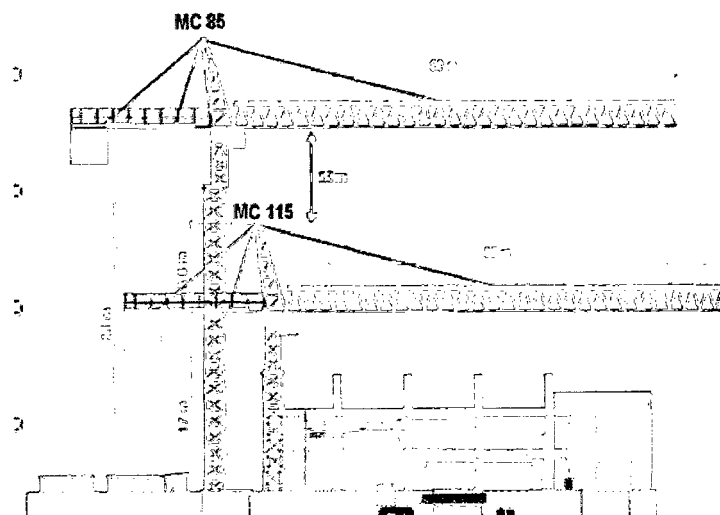
Fuente: Paper del Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### 4.4.5 Desfase de altura entre plumas de grúas

El desfase 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 aproximada de 10 metros, pero además de la altura tradicional, 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 (figura N° 4.13).

Al tenerse dos Grúas Torre a una distancia de solo 32 metros, teniendo cada una de las plumas un alcance de aproximadamente 50 metros, solo una de las 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 por 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.

Figura N° 4.13. Vista frontal del desfase de altura entre las dos grúas torre.



Fuente: Paper del Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### 4.4.6 Desmontaje

Se presenta el procedimiento de desmontaje para cada grúa torre.

#### 4.4.6.1 Desmontaje de Grúa Torre MC 85

La primera Grúa Torre en desmontarse fue la Grúa Torre MC 85, debido principalmente al layout de obra establecido, la cual disponía establecer oficinas para las subcontratas entrantes en el área de la Grúa Torre MC 85.

Para el desmontaje de este equipo se recurrió al uso de la Grúa Torre MC115 o Grúa Torre 1; así como ocurrió en el montaje de la Grúa Torre MC 85; a continuación se describirá como se llevo a cabo el desmontaje señalado.

El primer paso para el desmontaje de la Grúa Torre 2 fue realizar el destelescopaje; es decir, se disminuye la altura de la Grúa Torre. Para disminuir la altura se van quitando gradualmente los troncos intermedios, a este proceso se le denomina “destelescopaje”

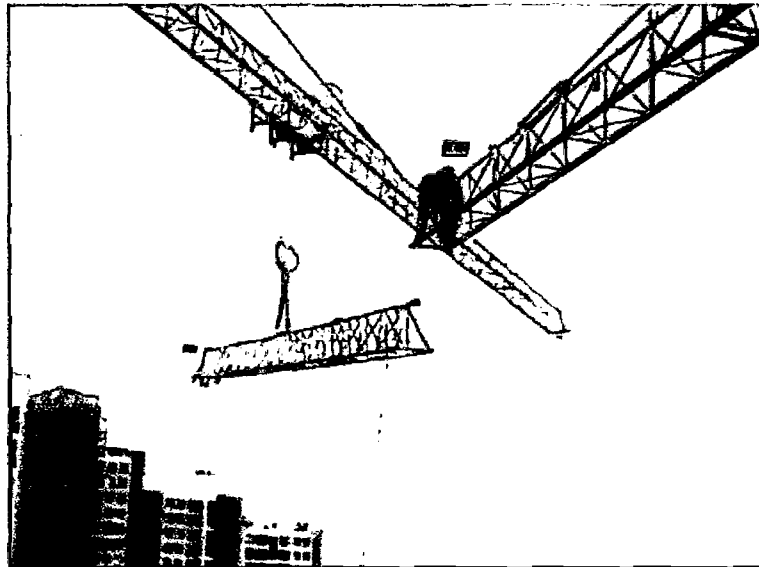
Cabe señalar que no siempre sería necesario realizar el procedimiento del destelescopaje en primera instancia, para este caso se realizó dicho procedimiento debido a la mayor altura a la que se encontraba la Grúa Torre MC 85 con respecto a la Grúa Torre 1.

Una vez realizado el destelescopaje de cuatro troncos de la Grúa Torre MC 85, se procede al desmontaje de tres de los cuatro contrapesos con los que cuenta dicho equipo.

Posteriormente se realiza el desmontaje de la pluma, este procedimiento se realiza en dos partes. La primera parte corresponde al desmontaje de la porción extrema de la pluma (Figura N° 4.14), la cual no se encuentra enganchada al tensor pluma, sino está sujeta a la otra porción de la pluma. La segunda parte corresponde al desmontaje de la porción

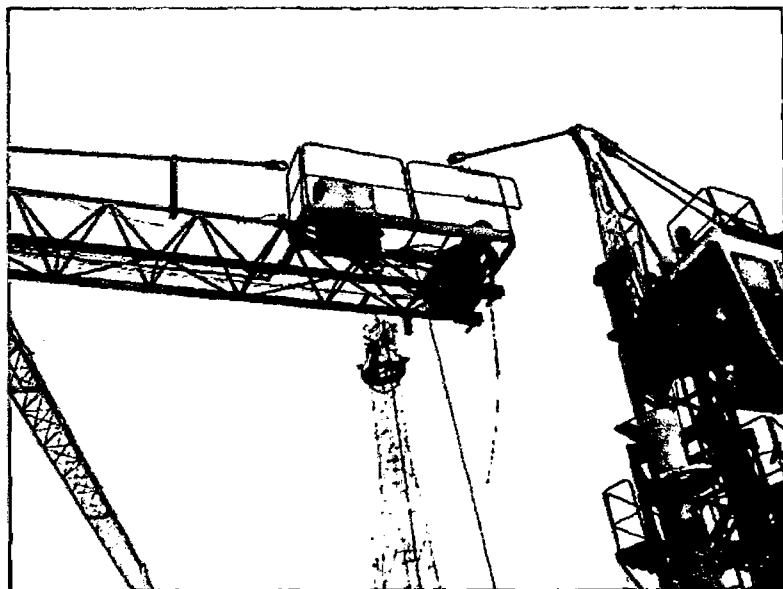
faltante de la pluma, para ello previamente se debe realizar el desenganche del tensor pluma, asimismo se desengancha la pluma en mención del mástil de la Grúa Torre (Figura N° 4.15).

Figura N° 4.14. Vista del desmontaje de primera porción de la pluma.



Fuente: Proyecto U. del Pacífico – GyM S.A.

Figura N° 4.15. Vista del desmontaje de segunda porción de la pluma.



Fuente: Proyecto U. del Pacífico – GyM S.A.

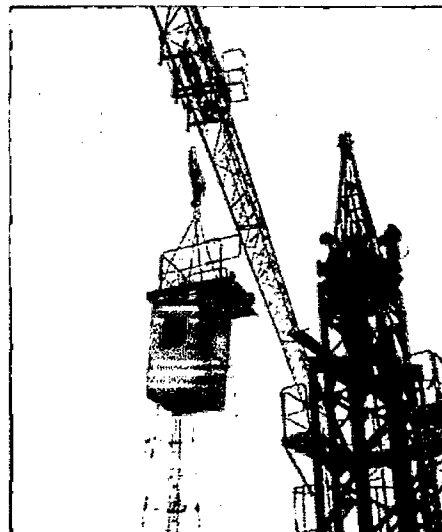
Posteriormente se procede con el desmontaje del contrapeso faltante, el cual permaneció para darle estabilidad a la pluma de la Grúa Torre.

Al finalizar el desmontaje del contrapeso, se realiza el desmontaje de la contrapluma, la cual de manera similar a la pluma, debe previamente ser desenganchada al tensor pluma y al mástil de la Grúa Torre.

Seguidamente es desmontada la cabina del operador (Figura N° 4.16), al término de esta se desmonta el mástil de la Grúa Torre (Figura N° 4.17), posteriormente se continúa con el desmontaje de los troncos restantes de la Grúa Torre.

Finalmente se procede al desmontaje de los contrapesos de la base, los cuales son desmontados uno a la vez, tal como se realiza con los contrapesos de la contrapluma, por otro lado cada una de las partes de la Grúa Torre MC 85 se cargan paulatinamente en los camiones de carga, según se vayan desmontando de la Grúa Torre.

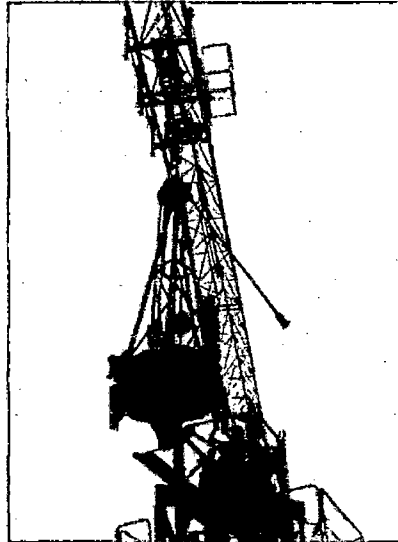
Figura N° 4.16. Vista del desmontaje de la cabina del operario de la grúa torre.



Fuente: Proyecto U. del Pacífico – GyM S.A.



Figura N° 4.17. Vista del desmontaje del mástil de la grúa torre.



Fuente: Proyecto U. del Pacífico – GyM S.A.

#### 4.4.6.2 Desmontaje de Grúa Torre MC 115

Del mismo modo que la grúa torre que se desmontó anteriormente, para el desmontaje de esta Grúa Torre se recurrió a otra grúa de carga pesada.

El procedimiento para el desmontaje de esta Grúa Torre se inicia con el destelescopaje de los cuerpos superiores de la Grúa Torre, este procedimiento es similar al explicado en el desmontaje de la Grúa Torre MC 85.

Para mantener un equilibrio adecuado en el desmontaje de la pluma de la Grúa Torre, no se desmonta los cinco contrapesos con los que cuenta la Grúa Torre, se procede a desmontar solamente cuatro contrapesos (figura N° 4.18).

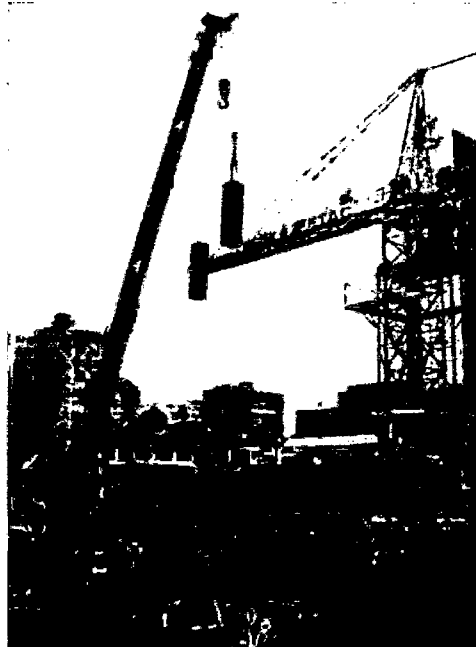
Seguidamente al desmontaje de los tres contrapesos, se procede con el desmontaje de la pluma, la cual se desmonta en dos porciones, la primera porción de la pluma en desmontarse es la extrema, correspondiente a la punta de la pluma (4.19).

Posteriormente se desmonta la porción faltante de la pluma, la cual previamente debe ser desenganchada del mástil de la Grúa Torre; luego se desmonta el contrapeso faltante, para que luego se desenganche la contrapluma del tensor que lo mantiene unido al mástil, y se proceda al desmontaje de la contrapluma.

El mástil y la cabina del operador se desmontan seguidamente, como se aprecia todo el procedimiento se parece al del desmontaje de la Grúa Torre MC 85, con la diferencia marcada en la base de cada una, ya que para este caso la base es empotrada, de manera que solamente se requiere remover el concreto que se tiene en la base de la Grúa Torre.

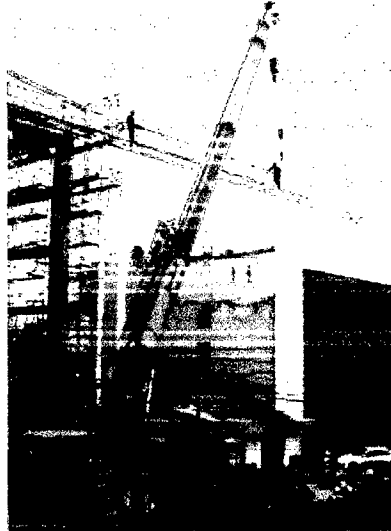
Finalmente se termina el desmontaje de los troncos faltantes de la Grúa Torre, para que posteriormente se embarquen todas las partes en un camión de transporte.

Figura N° 4.18. Vista del desmontaje de un contrapeso.



Fuente: Proyecto U. del Pacífico – GyM S.A.

Figura N° 4.19. Vista del desmontaje de una porción de la pluma.



Fuente: Proyecto U. del Pacífico – GyM S.A.

## 4.5 PLANIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD

Encontrándose las Grúas Torre instaladas en obra, es decir una vez finalizados los montajes de cada una de las Grúas Torre, se consideró la planificación de la seguridad como uno de los puntos más importantes a considerar, para ello se tomó como referencia la Norma Técnica de Prevención Española (NTP 125: Grúa Torre), ya que en nuestro país no se cuenta con una norma para este tipo de equipos.

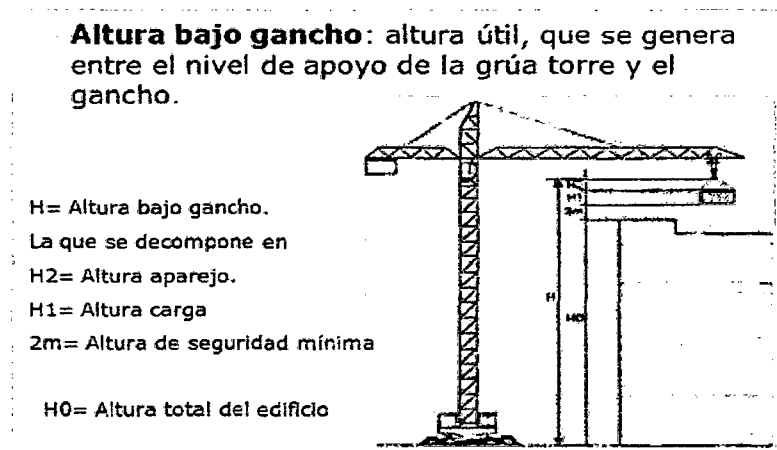
### 4.5.1 Emplazamiento de la Grúa Torre, distancia de seguridad

- En ningún momento cualquier parte de la Grúa Torre, así como las cargas suspendidas, pueden entrar en contacto con 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 otra 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 (figura N° 4.20).
- 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 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.

Figura N° 4.20. Altura de seguridad bajo gancho.



Fuente: Grúas ETAC Perú S.A.C.

## **4.5.2 Funcionamiento de la Grúa Torre**

Es de suma importancia verificar el correcto funcionamiento de los equipos, antes del inicio de actividades con las Grúas Torre.

### **4.5.2.1 Antes de iniciar el funcionamiento**

El operador de la Grúa Torre debe probar el buen funcionamiento de todos los movimientos y de los dispositivos de seguridad.

### **4.5.2.2 Durante el funcionamiento**

- El operador de la Grúa Torre debe saber que no se han de utilizar las contramarchas para el frenado de la maniobra.
- Siempre se debe de mantener el cable tensado, para ello no se debe dejar caer el gancho al suelo.
- El operador de la Grúa Torre no puede abandonar el puesto de mando mientras se mantenga una carga sostenida del gancho.
- En los relevos de operador, el saliente debe indicar el estado en el que deja la Grúa Torre al operador entrante (se debe volver a realizar un nuevo check list de pre-uso).
- Los movimientos de elevación, traslación y giro no se deberán realizar con sacudidas debiéndose tener en cuenta para ello los efectos de inercia. Si estando izando una carga se produce una perturbación en la maniobra de la Grúa Torre, se pondrá inmediatamente a cero el mando del mecanismo de elevación. Deberá de realizarse cada maniobra a la velocidad requerida para tal

fin, el traslado de elementos dentro de cajones, parihuelas y materiales peligrosos deberá de realizarse en la mínima velocidad de traslado. Las cargas sujetadas para el izaje en sí mismas (no colocadas en cajones) pueden realizarse en cualquiera de las velocidades.

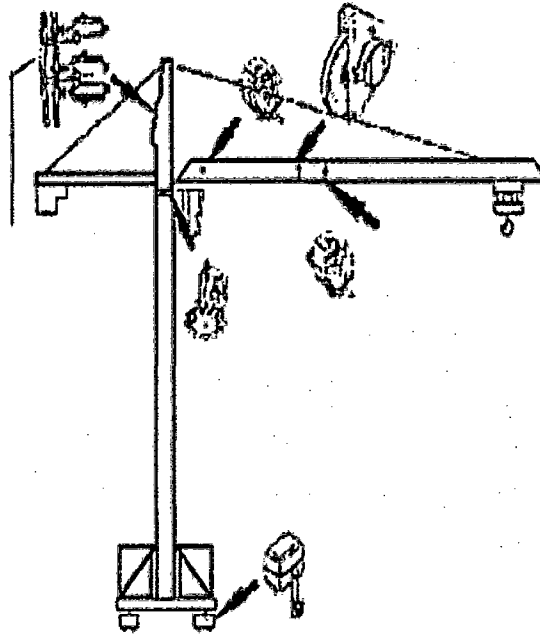
- Los interruptores y mandos no se deberán sujetarse jamás con cuñas o ataduras. Sólo se deben utilizar los aparatos de mando previstos para este fin.
- El conductor de la Grúa Torre (operario) debe observar la carga durante el traslado. Dará señales de aviso antes de iniciar cualquier movimiento. Se recomienda colocar una señal sonora la cual se activará previa al inicio de cada izaje.
- Se debe evitar que la carga pase por encima de las personas.
- Estará totalmente prohibido subir personas con la Grúa Torre así como hacer pruebas de sobrecarga a base de personas.

#### **4.5.3 Dispositivos de seguridad**

Aparte de los sistemas mecánicos de seguridad, existen en la Grúa Torre limitadores electromecánicos, los cuales estarán siempre reglados y constantemente vigilados (figura N° 4.21).

Se verificarán los limitadores existentes en cada tipo de Grúa Torre, de dicha información se preparará el formato de check list diario, con lo cual se estará avalando la revisión de la seguridad antes del inicio de las actividades de cada Grúa Torre.

Figura N° 4.21.Limitadores de una Grúa Torre.

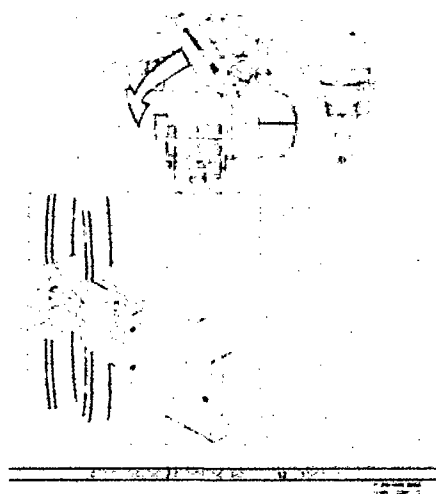


Fuente: Grúas ETAC Perú S.A.C.

#### 4.5.3.1 Limitador de par máximo o de momento

Permite bajar el gancho y retroceder el carro, asimismo corta el avance del carro y la subida del gancho cuando se eleva una carga superior a la prevista para cada alcance (figura N° 4.22).

Figura N° 4.22.Limitador de momento.

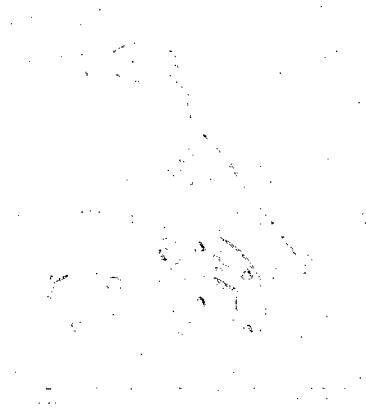


Fuente: Grúas ETAC Perú S.A.C.

#### 4.5.3.2 Limitador de carga máxima

Corta la subida del gancho cuando se intenta levantar una carga que sobrepasa la máxima en un 10%, también permite bajar el gancho (figura N° 4.23).

Figura N° 4.23.Limitador de carga máxima.

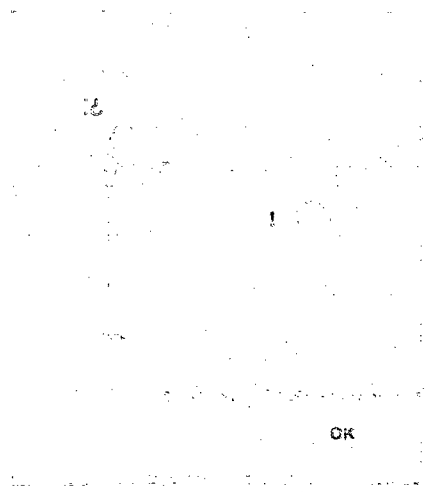


Fuente: Grúas ETAC Perú S.A.C.

#### 4.5.3.3 Limitadores en recorrido en altura del gancho

Son dos fines de carrera, superior e inferior, de los movimientos de elevación y descenso, que actúan sobre el mecanismo tanto en la subida como en la bajada, pudiendo efectuar el movimiento contrario (figura N° 4.24).

Figura N° 4.24.Limitador de recorrido de gancho.



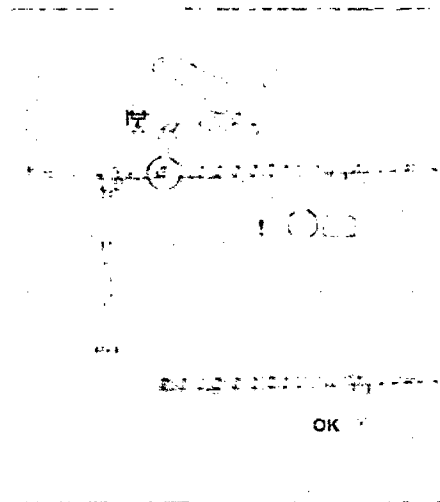
Fuente: Grúas ETAC Perú S.A.C.



#### 4.5.3.4 Limitador de translación del carro

Corta el avance del carro de distribución, antes de llegar a los topes de goma, en los extremos de la flecha (figura N° 4.25).

Figura N° 4.25. Limitador de translación.

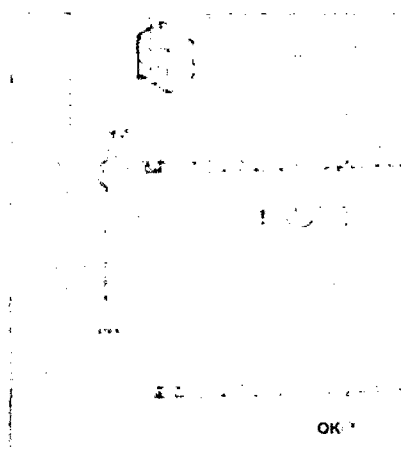


Fuente: Grúas ETAC Perú S.A.C.

#### 4.5.3.5 Limitador del número de giros de la Grúa Torre

Actúa sobre el mecanismo de orientación y limita el número de vueltas, dos o tres, de la parte giratoria en uno y otro sentido, con el fin de no dañar la manguera eléctrica (figura N° 4.26).

Figura N° 4.26. Limitador de giro.



Fuente: Grúas ETAC Perú S.A.C.

#### **4.5.3.6 Indicadores de carga y alcance**

Se pondrá en un lugar visible de la Grúa Torre el Diagrama de Cargas y Alcances de la Grúa Torre.

#### **4.5.4 Operador de la Grúa Torre**

##### **4.5.4.1 Recomendaciones**

- El operador de la Grúa Torre tiene que ser una persona responsable y capacitada.
- Se recomienda que el operador de la Grúa Torre cuente con una certificación de "Operador de Grúas Torre" por una entidad reconocida.
- El operador de la Grúa Torre deberá hacer pausas periódicamente dado que los reflejos son muy importantes para manejar adecuadamente.

##### **4.5.4.2 Verificaciones diarias**

El operador de la Grúa Torre deberá verificar diariamente:

- Registro documentario en Check List diario de la inspección pre-uso.
- Correcto funcionamiento de los frenos.
- Observar la normalidad de funcionamiento de la Grúa Torre, si se perciben ruidos o calentamientos anormales.
- Verificar el comportamiento del lastre en caso los tuviera (bloques en piso).

- Colocar la carga de nivelación para evitar que el cable de elevación quede destensado y enrolle mal en el tambor de elevación.
- Al terminar el trabajo subir el gancho hasta el carrito, amarrar la Grúa Torre a los carriles, dejar la pluma en dirección al viento, con el freno liberado y cortar la corriente.

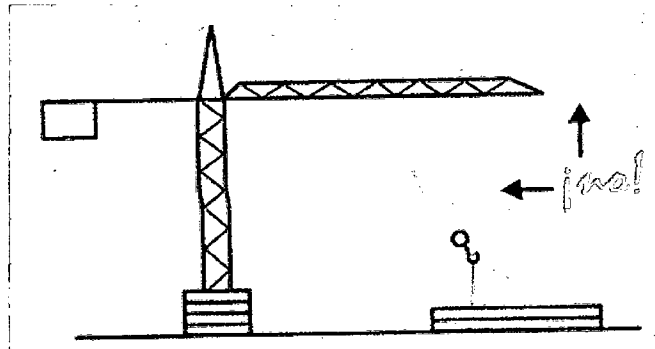
#### **4.5.4.3 Verificaciones semanales**

- Verificar el ajuste de todos los tornillos y principalmente los de la torre, pluma y corona giratoria.
- Verificar la tensión del cable del carro, así como el cable de carga y su engrase.
- Comprobar el buen funcionamiento del pestillo de seguridad del gancho.
- Se deben probar las protecciones contra sobrecargas, interruptores fin de carrera, mecanismo de elevación, izado de la pluma, descenso de la pluma y traslación en los dos movimientos.
- Comprobar tramos de vía (siempre y cuando sea móvil).
- Vigilar las partes sujetas a desgaste, como cojinetes, superficies de los rodillos, engranajes, zapatas de freno, debiendo avisar para su cambio de requerirse. De ser necesario se asistirá con el departamento de mantenimiento mecánico.

#### **4.5.4.4 Prohibiciones**

- Utilizar los elementos de elevación para hacer tracciones oblicuas de cualquier tipo (figura N° 4.27).

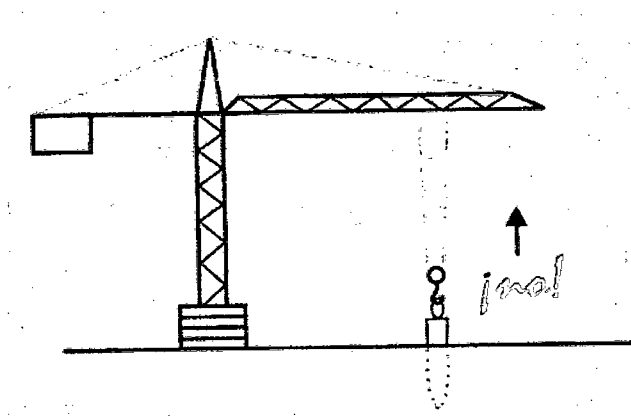
Figura N° 4.27. Evitar tracciones oblicuas.



Fuente: Monografía de Javier Vega Arias.

- Arrastrar o arrancar objetos fijos del suelo o paredes (figura N° 4.28).

Figura N° 4.28. Evitar arrancar objetos fijos.

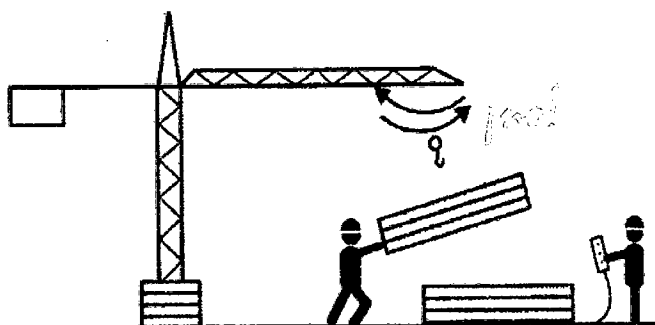


Fuente: Monografía de Javier Vega Arias.

- 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 señalizado anteriormente.

- Balancear las cargas para depositarlas en puntos donde no llega normalmente el aparejo de elevación (figura N° 4.29).

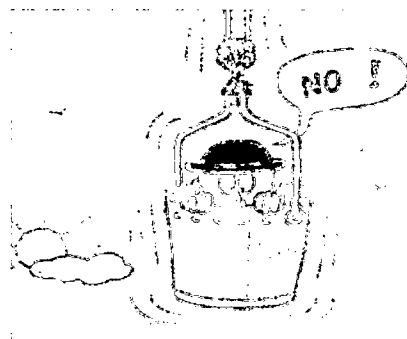
Figura N° 4.29. Balancear cargas.



Fuente: Monografía de Javier Vega Arias

- Utilizar las Grúas Torre para el transporte del personal (figura N° 4.30).

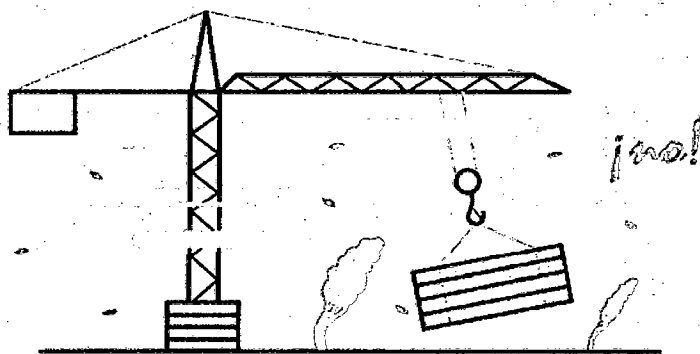
Figura N° 4.30. Caricatura acerca de la prohibición de elevar personal.



Fuente: ETAC Perú S.A.

- No realizar maniobras con fuertes vientos (Si bien las restricciones para realizar maniobras, por la velocidad del viento, está sujeta a las características de cada Grúa Torre, está recomendado no realizar maniobras con una velocidad de viento superior a 72km/h (ó 40 nudos)). Tampoco deberá realizarse maniobras cuando las cargas – por su forma y tamaño – fuesen difíciles de controlar aunque la velocidad del viento sea menor.

Figura N° 4.31. Evitar realizar maniobras con fuertes vientos.



Fuente: Monografía de Javier Vega Arias.

- No realizar maniobras de haber una tormenta eléctrica cerca (desconectar corriente de acometida).
- 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.

#### 4.5.5 Operaciones de izaje de cargas

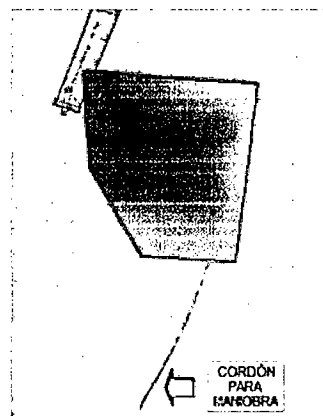
- Antes de operar una grúa el responsable de las operaciones de izaje conjuntamente con el operador deben hacer una inspección de seguridad que incluya revisión del winche, poleas, cables, seguros, bridas, abrazaderas y en general todo el sistema elevador. No se permitirá el uso de aparejos de izaje tales como ganchos, argollas, grilletes, canastillos, etc.; fabricados con fierro de construcción.
- El operador deberá demostrar que está familiarizado con el equipo y comprobar antes del izado el funcionamiento de los frenos, palancas, controles y de la maquinaria en general. Deberá verificar la operatividad de la alarma de fin de carrera del gancho de la grúa y del pestillo de seguridad del mismo.
- El responsable de la operación de izaje utilizará las tablas de capacidad para verificar que la grúa y los aparejos tengan

capacidad suficiente para izar la carga. Deberá así mismo, verificar que los estrobos tengan el diámetro adecuado para resistir la carga, así como, el buen estado de los mismos, descartando los que tengan dobleces, hilos rotos, corrosión excesiva, fallas por fatiga, etc. No se permiten estrobos hechizos. Se descartarán así mismo las fajas o eslingas que presenten costuras o hilos rotos. Se deberá controlar, así mismo, la estiba de la carga, utilizando contenedores cuando se requiera izar carga disgregada (ladrillos, paneles y similares).

- La maniobra de izaje deberá dirigirla una sola persona (Rigger) que conozca las señales establecidas y que estará en todo momento a la vista del operador. El maniobrista deberá usar chaleco y guantes reflectivos. En caso de emergencia cualquier persona podrá dar la señal de parada. Si el maniobrista no puede ser visto en todo momento por el operador, deberá implementarse comunicación por radio. El maniobrista es el responsable de verificar que el área de maniobras esté acordonada y/o señalizada.
- Deberá colocarse sogas en los extremos de la carga para su correcto direccionamiento y control (figura N° 4.32).
- Es recomendable efectuar un "pulseo" de la carga antes de comenzar el izaje propiamente dicho. No se permite bajo ninguna circunstancia que personal se ubique sobre la carga al momento de ser izada, así como tampoco la permanencia de personas bajo cargas suspendidas.
- Es importante verificar que no haya cables eléctricos que representen un peligro para las operaciones de izaje. Si los hubiera, tomar las precauciones del caso y efectuar la puesta a tierra del equipo.

- Se comenzará a elevar la carga solo cuando el cable de izaje esté vertical y la cuadrilla de maniobras esté alejada de la carga, fuera del área de oscilación de la misma.
- El operador no debe abandonar los controles de la grúa mientras la carga esté suspendida. Cuando finalicen las maniobras deberá bajar completamente la pluma.
- Cuando se descargue de un vehículo se deberá:
  - Inmovilizar el vehículo con los frenos del mismo y calzar las ruedas utilizando tacos antes de soltar las amarras.
  - Establecer la secuencia adecuada de descarga para prevenir la caída de la carga remanente y/o el volteo del vehículo.
  - Preparar con anticipación al descenso de la carga el área donde va a ser descargada, colocando de requerirse, los tacos de apoyo y restringiendo la circulación de personas y vehículos mediante acordonamiento o conos de señalización.
  - Efectuar el desenganche de la carga sólo después de verificar la estabilidad de la misma.

Figura N° 4.32. Prelosa con soga para su correcto direccionamiento.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.



#### 4.5.6 Equipo de protección personal y colectivo

Serán utilizados equipos de protección individual que los protejan adecuadamente de aquellos riesgos para su salud o su seguridad que no puedan evitarse o limitarse suficientemente mediante la utilización de medios de protección colectiva o la adopción de medidas de organización en el trabajo (figura N° 4.33).

Es obligatorio usar:

- Cascos de seguridad certificado.
- 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.

Figura N° 4.33. Rigger usando implementos de seguridad.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD DE DOS GRÚAS TORRE

Como ya se mencionó en el objetivo principal, la esencia de este estudio es dar a conocer el análisis de la productividad de grúas torre en su papel de agente agilizador de las actividades que se mencionaron, con la finalidad de sacarles el máximo provecho en beneficio de la mejora del proyecto. Respecto a este último punto cabe señalar que un equipo puede ofrecer muchas bondades, pero si no se le sabe sacar el máximo provecho a estos, no se justifica la inversión que se realiza para la adquisición de un equipo tan caro. Para el logro de dicho objetivo se toma como campo de estudio el proyecto de construcción denominado "Edificio Educativo Universidad del Pacífico", proyecto que tiene todas las características para realizar el tipo de estudio deseado.

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 el proyecto anteriormente mencionado. 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 Grúas Torre en otros proyectos. Para dar a conocer el procedimiento adecuado, con el fin de proponer una metodología para manejar adecuadamente el uso de estos equipos, se dividirá el estudio en 5 etapas (Identificación, Medición, Evaluación, Intervención y Consolidación).

### 5.1 IDENTIFICACIÓN

Esta primera etapa tiene como objetivo dar a conocer las principales actividades que realizará el equipo en estudio, mediante el sencillo método de la observación.

Esta es una etapa propiamente sencilla, no se necesita ninguna experiencia previa para poder identificar cada uno de los procesos que realizan las grúas torre. También es muy fácil la identificación de las actividades principales por medio de algún documento de planificación desarrollado con anterioridad al inicio de los trabajos en obra.

Pero de todas maneras es necesario realizar observaciones en campo, puesto que solo en el campo se puede apreciar procesos no previstos en la planificación.

Para el caso del proyecto citado se desarrolló este proceso para la etapa estructural, construcción que se diferenció en dos grandes etapas, la primera etapa correspondía a la construcción de la estructura de los sótanos y la segunda etapa a la estructura de los pisos superiores, respectivamente.

En la primera etapa se tienen diferentes tipos de trabajos desarrollados, se diferenciará cada uno de los trabajos desarrollados, de manera que se vayan identificando cada uno de los procesos existentes. En la segunda etapa por tratarse del mismo tipo de partidas, los trabajos desarrollados por los equipos son similares. La diferencia radica sin duda en cada una de las actividades a las que fueron asignadas cada una de las Grúas Torre, las cuales como ya es sabido, producto de la ubicación y la planificación inicial se ocupan de tareas diferentes.

Se debe tener en consideración que para la etapa estructural se requieren elementos típicos para el desarrollo de las actividades, es así que se menciona todos los materiales involucrados, de acuerdo a los trabajos a desempeñarse.

También se debe tener en consideración otro tipo de actividades que realizan las grúas torre, estas son denominadas actividades provisionales también serán consideradas en el proceso de medición, lo cual se apreciará en la siguiente etapa, denominada "Medición".

Para los procesos importantes, llámense actividades de producción, se identificaron actividades usuales para cada etapa, como ya se mencionó anteriormente se presentaron dos etapas diferenciadas en cuanto a planificación de los trabajos, pero en cuanto a realización de actividades estas fueron muy similares, se presenta a continuación la lista de todos los procesos realizados por cada una de las grúas torre.

### 5.1.1 Actividades de producción

Estas actividades se caracterizan por generar avance en la obra, es decir estas actividades “producen” el proyecto físicamente hablando. A continuación se señalará los procesos constructivos más importantes observados en esta etapa. 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”, sistema que fue aceptado por el consultor y el constructor. Los procesos más importantes de este sistema se tienen en la tabla N° 5.1.

Tabla N° 5.1. Lista de procesos importantes en el sistema a base de pre-armados.

Proceso	Elemento pre-armado
Construcción de columnas	Acero pre-armado para columna
Construcción de vigas	Acero pre-armado para viga
Construcción de losas	Prelosa
Construcción de placas	Acero pre-armado para placa

Fuente: Elaboración propia.

En esta parte de la tesis se mostrará el desarrollo de cada proceso, para ello se describirá el proceso, además se presentarán fotografías ilustrativas, con la intención de clarificar el procedimiento desarrollado.

#### 5.1.1.1 Proceso de construcción de columnas

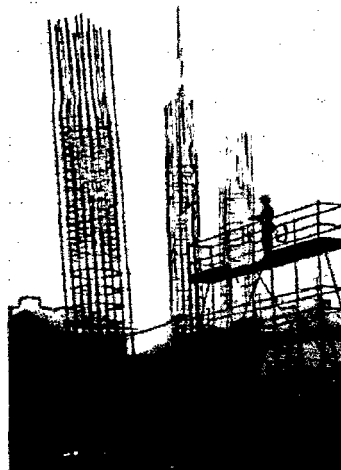
Este proceso producirá uno de los elementos estructurales más primordiales para la edificación, las columnas estructurales. Se mostrará detalladamente los procesos que se siguen para llevar a cabo la construcción de columnas. En estos procedimientos las grúas torre vienen a ser una parte muy importante, como se verá a continuación.

- **Enganche de acero pre-armado**

El primer procedimiento que se considera importante para esta etapa de la construcción de la columna estructural, es el enganche del refuerzo para la columna, para ello se debe colocar el elemento en disposición vertical, tal como se puede apreciar en la figura N° 5.1, para posteriormente ser enganchado por una persona que se sube en un andamio dispuesto para tal fin.

Este procedimiento es muy crítico, puesto que debería realizarse con mucho cuidado, dado que el éxito del traslado de este elemento depende del correcto enganche, para ello se debe elegir con mucho criterio los puntos de enganche de la carga con la que se trabajará.

Figura N° 5.1. Vista de zona para enganche de acero pre-armado para columna.

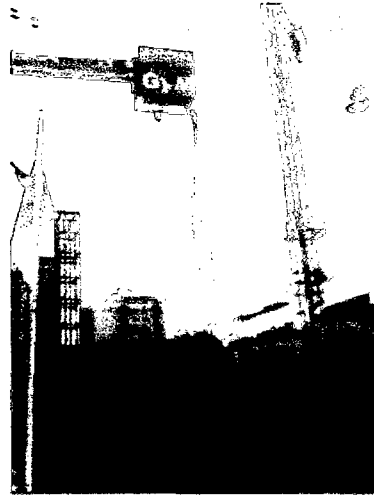


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### ▪ **Traslado de acero pre-armado para columna**

Una vez terminado el proceso de enganchado del elemento, se procede al traslado del acero pre-armado para columna al lugar correspondiente, obviamente que el traslado se realiza con las Grúas Torre. Previamente al izado de la carga, se pone al elemento pre-armado en forma vertical, de manera que el traslado sea en esa disposición.

Figura N° 5.2. Vista de traslado de acero pre-armado para columna.

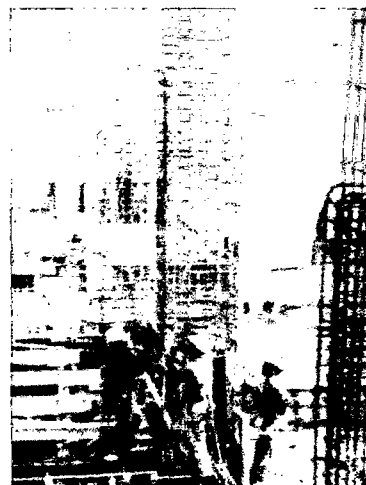


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

▪ **Colocación de acero pre-armado**

Después de finalizar con el traslado del elemento, se procede a la colocación del acero pre-armado en la correcta disposición. Para ello se deberá encajar correctamente las varillas verticales del acero pre-armado, de tal manera que se deberá traslapar con las varillas inferiores remanentes de la anterior colocación. Para este procedimiento se requiere 1 operario y 3 ayudantes.

Figura N° 5.3. Vista de colocación de acero pre-armado para columna.

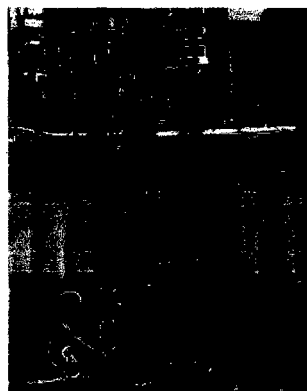


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Desenganche de acero pre-armado**

Una vez finalizada la colocación de la armadura para la columna, se procede al desenganche de esta; para ello uno de los trabajadores deberá subir hasta el nivel superior de la armadura. Para esta labor es necesario solo una persona como se observa en la figura N° 5.4.

Figura N° 5.4. Vista del desenganche de acero pre-armado para columna.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Enganche de encofrados laterales**

Luego de colocado el primer elemento importante para la columna, se procede a encofrar esta, de manera que se engancha en forma independiente cada paño de encofrado, en el caso estudiado se utiliza encofrados metálicos.

Figura N° 5.5. Vista del enganche de encofrado lateral.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Traslado de encofrados laterales para columnas**

Desde los lugares de acopio de los encofrados, previamente enganchados, se traslada los encofrados al lugar correspondiente, estos encofrados deberán ser trasladados en forma vertical, de manera que al término del traslado el proceso siguiente se desarrolle con mayor facilidad.

Cabe señalar que los encofrados pueden ser previamente enganchados en dos paños, tal como se aprecia en la figura N° 5.6, de manera que se agiliza el término del encofrado para las columnas.

Figura N° 5.6. Vista de traslado de encofrado lateral.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

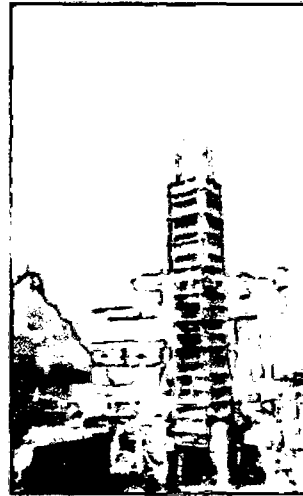
- **Colocación de encofrado**

Una vez finalizado el proceso de traslado de encofrado, se procede a la colocación del encofrado, para ello se deberá asegurar las ranuras con los pernos que poseen los encofrados metálicos utilizados, según el requerimiento de las dimensiones de la columna y con las respectivas nivelaciones del caso.

El término del encofrado de una columna se agiliza gracias a la colocación del encofrado en dos paños como se apreció anteriormente.



Figura N° 5.7. Vista de colocación de encofrado lateral.

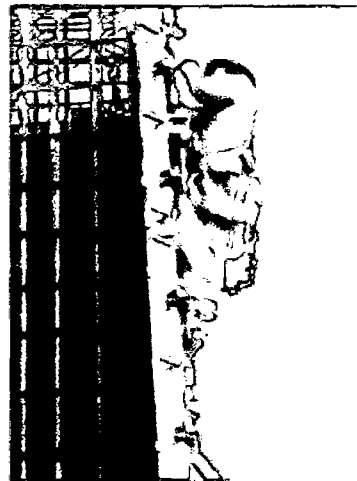


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### ▪ **Desenganche de encofrados laterales**

Finalmente, una vez terminada la colocación de los encofrados, se procede con el desenganchado de estos elementos, para que la grúa torre pueda proseguir con otras actividades.

Figura N° 5.8. Vista del desenganche de encofrado lateral.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### **5.1.1.2 Proceso de construcción de vigas**

De manera similar a la construcción de las columnas, se muestra los procesos consecutivos para la construcción de

las vigas. Esta actividad requiere de una mayor cantidad de elementos, 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.

Los otros elementos son similares a los vistos en la construcción de columnas, de manera que su entendimiento no significará mayor problema.

- **Enganche de encofrado para fondo de 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 el siguiente proceso con toda la seguridad del caso.

Figura N° 5.9. Vista del enganche de encofrado para fondo de viga.

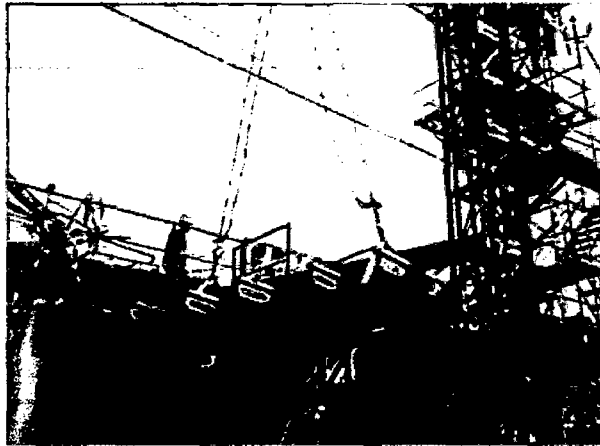


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### ▪ **Traslado de encofrado para fondo de viga**

El traslado del encofrado para fondo de viga es un proceso muy beneficioso para la construcción de la viga, puesto que agiliza el proceso de encofrado de la viga, estas se encuentran formadas por una serie de soleras dispuestas de tal manera que se pueda colocar sobre estas los encofrados laterales para la viga. Con la Grúa Torre se consigue trasladar estos elementos con mucha facilidad al lugar que se desee, tal como se muestra en la figura N° 5.10.

Figura N° 5.10. Vista del traslado del encofrado para fondo de viga.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### ▪ **Colocación de encofrado para fondo de viga**

Esta parte del procedimiento de construcción de la viga, es la que tiene más dificultad, ya que para ubicar correctamente el encofrado para 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.

Figura N° 5.11. Vista de la colocación del encofrado para fondo de viga.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Desenganche de encofrado para fondo de viga**

Una vez realizada la colocación correcta del encofrado para fondo de viga, se procede al desenganche del elemento, si y sólo si ya se encuentra asegurado correctamente todo el sistema mencionado anteriormente.

Figura N° 5.12. Vista del desenganche del encofrado para fondo de viga.

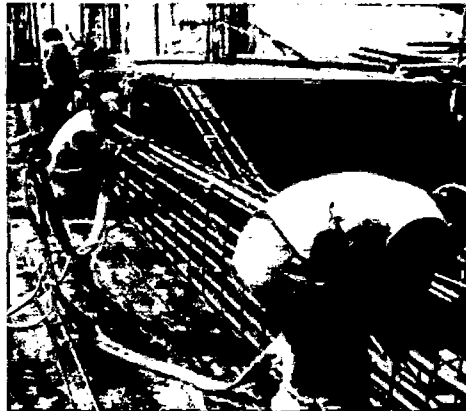


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Enganche de acero pre-armado**

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 siguiente.

Figura N° 5.13. Vista del enganche del acero pre-armado.

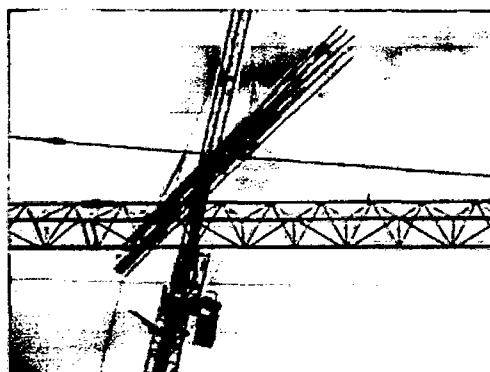


Fuente: Proyecto Educativo "Universidad del Pacífico"

#### ▪ Traslado de acero pre-armado

Una vez debidamente enganchado el acero pre-armado, este es trasladado en una disposición horizontal, de manera que al momento de realizar el procedimiento siguiente, se realice de manera sencilla.

Figura N° 5.14. Vista del traslado de acero pre-armado.

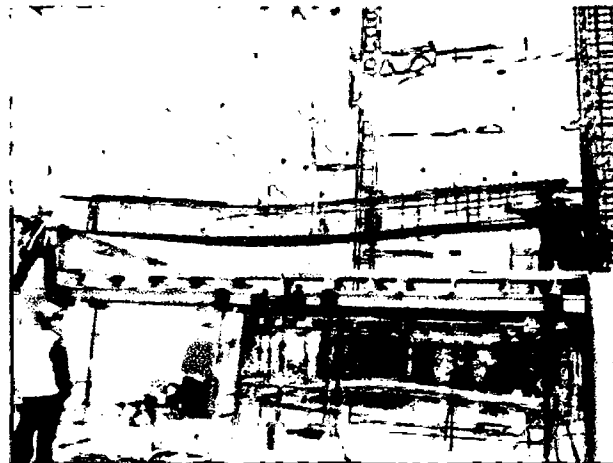


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### ▪ Colocación de acero pre-armado

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 dos tramos de fondo de viga.

Figura N° 5.15. Vista de la colocación de acero pre-armado.

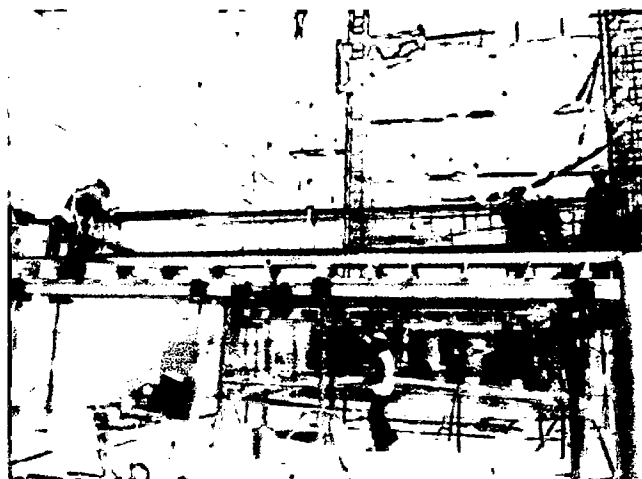


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### ▪ Desenganche de acero pre-armado

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

Figura N° 5.16. Vista del desenganche del acero pre-armado.

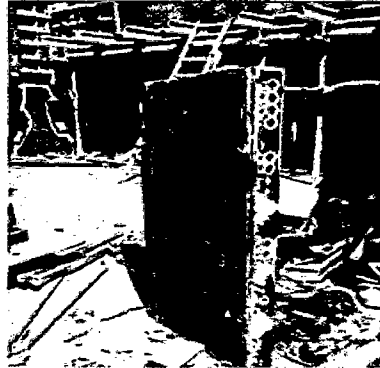


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Enganche de encofrados laterales**

Con la finalidad de permitir el vaciado para la construcción de vigas, posteriormente a la colocación del encofrado de fondo de viga así como de la viga pre-armada, se procede al enganche de encofrados laterales.

Figura N° 5.17. Vista del enganche de encofrados laterales.

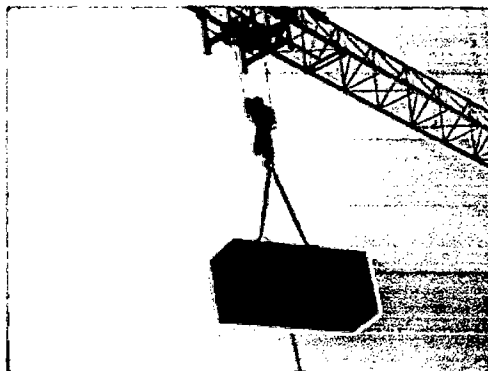


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Traslado de encofrados laterales**

Efectuado el enganche de los encofrados laterales, con la finalidad de agilizar la colocación de los encofrados laterales, estos se disponen horizontalmente para ser trasladados.

Figura N° 5.18. Vista del traslado de encofrados laterales.

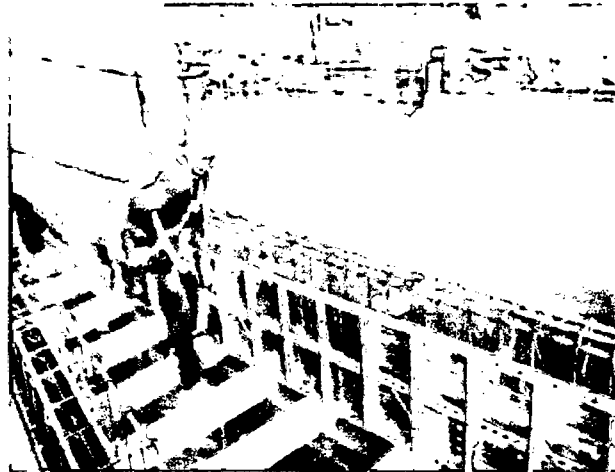


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Colocación de 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.

Figura N° 5.19. Vista de colocación de encofrado lateral de viga.

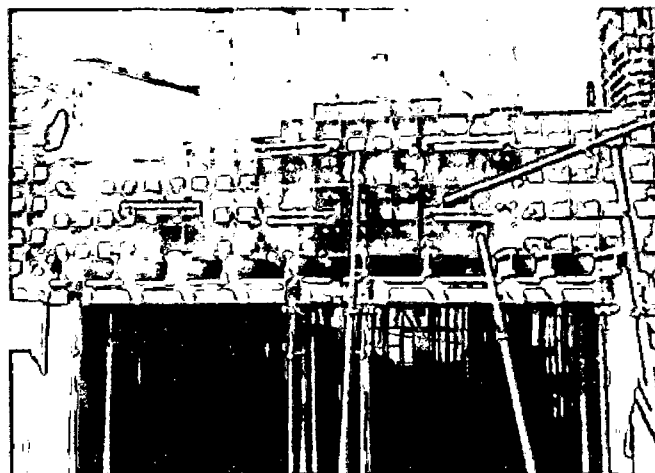


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Desenganche de encofrados laterales**

Después de finalizado el aseguramiento de los encofrados laterales, se procede al desenganchado de estos elementos, para proseguir con el resto de encofrados.

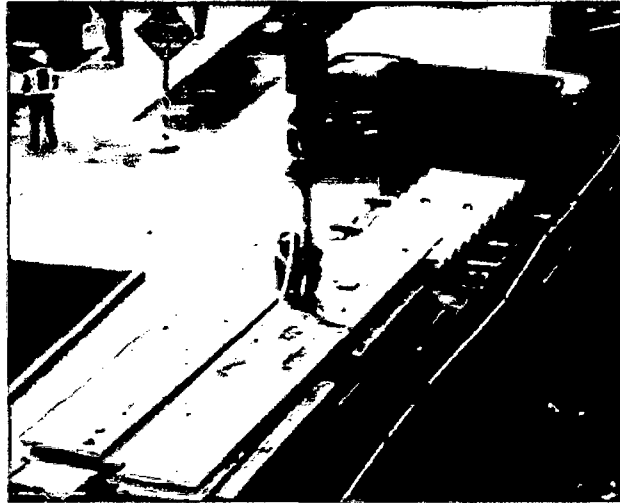
Figura N° 5.20. Vista de encofrado lateral desenganchado.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.



Figura N° 5.22. Vista del enganche de prelosa.

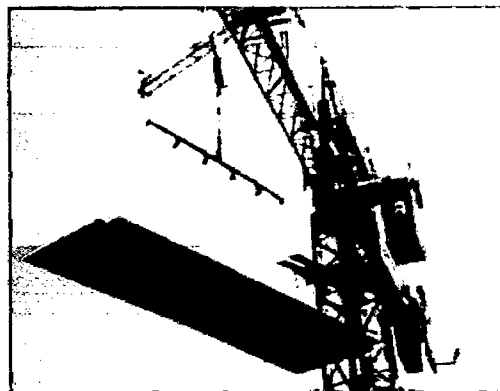


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Traslado de prelosas**

El traslado generalmente se realiza desde la calle hacia el lugar destinado a la descarga. Dado que los cargamentos de prelosa llegaban en grupos de camiones, desde el cual se tenía que descargar y trasladar. Este proceso debe ser realizado con mucho cuidado, por el peligro que representa esta carga.

Figura N° 5.23. Vista del traslado de la prelosa.



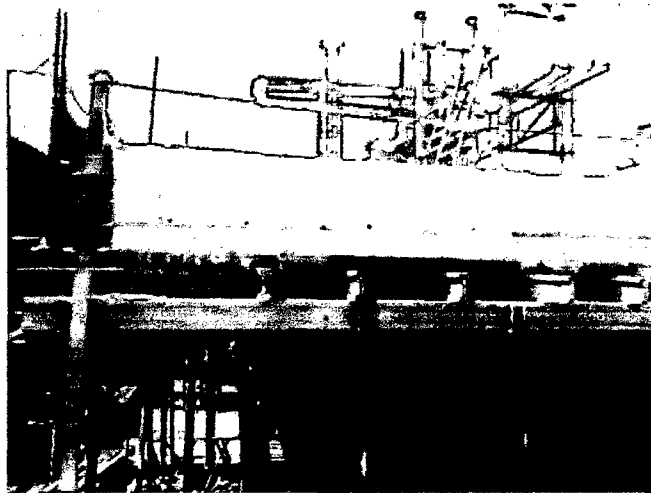
Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Colocación de prelosas**

- **Desencofrado de elementos laterales**

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

Figura N° 5.21. Vista de viga desencofrada.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

### 5.1.1.3 Proceso de construcción de losas

El proceso de construcción de losas tiene una importancia notoria, no solo por el peso de cada una de estos elementos, el cual se encuentra alrededor de 2200 kg, sino por el peligro que representa mantener una carga muy pesada a gran altura.

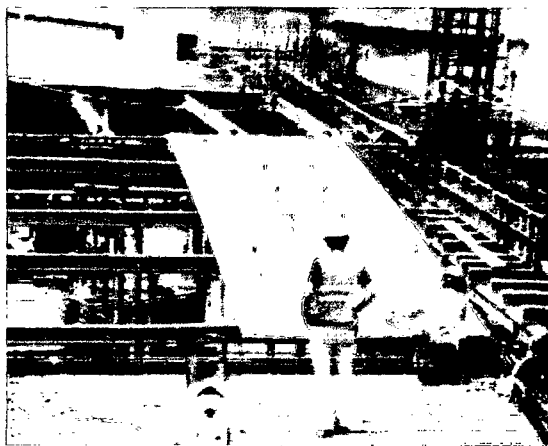
Se requiere comprobar previamente el tamaño requerido para el paño por colocar, puesto que de no ser así se produciría retrasos en este proceso.

- **Enganche de prelosas**

Para el enganche de las pre-losas se realizó unas pruebas especiales, de manera que se compruebe la seguridad en el tipo de enganche a realizar.

Una vez realizado el proceso de traslado de la prelosa hacia el lugar destinado, se inicia con la colocación de la misma, para ello se trata en lo posible de buscar encajar la prelosa en el paño, en persecución de dicho fin se utiliza herramientas para lograr dicho cometido, por ejemplo se hace uso de barretas para separar los aceros embebidos dentro de paños contiguos que puedan interferir con la colocación de la prelosa.

Figura N° 5.24. Vista de la colocación de prelosa.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Desenganche de prelosas**

Solamente cuando se logró colocar la prelosa se procederá al desenganche de la misma, es decir que la prelosa debe encontrarse estabilizada totalmente.

Figura N° 5.25. Vista del desenganche de prelosa.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Traslado de acero negativo para losas**

El último trabajo en el que participa la Grúa Torre para la construcción de las losas, es el traslado de acero negativo, para cada uno de las prelosas.

Figura N° 5.26. Vista de traslado de acero para losas.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

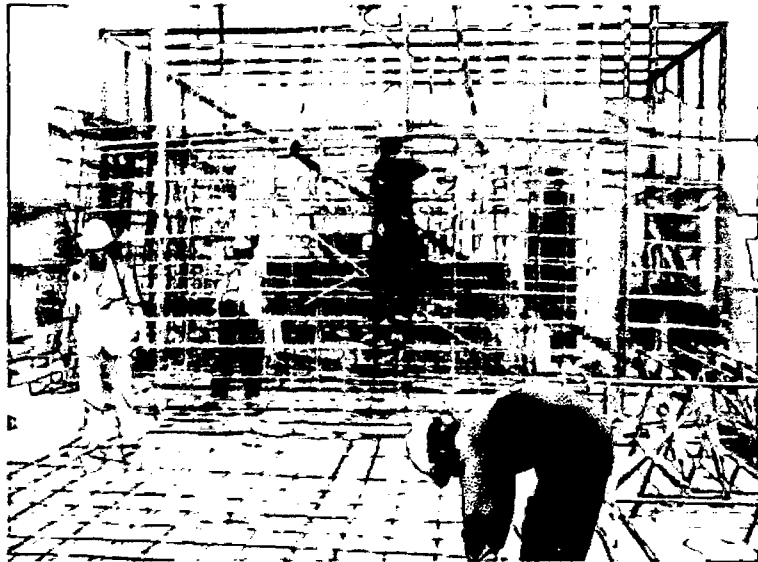
#### 5.1.1.4 Proceso de construcción de placas

El proceso de construcción de placas se desarrolla de manera similar al proceso desarrollado en la construcción de columnas, puesto que al igual que las columnas, solo se necesitan algunos materiales, tales como acero pre-armado para placas y encofrados.

- **Enganche de acero pre-armado para placas**

Las dimensiones del acero pre-armado para placas, obviamente son mayores al de las columnas, por lo tanto; el proceso de enganche es más laborioso, ya que se tiene que enganchar en mayor número de ubicaciones, para ofrecer mayor seguridad.

Figura N° 5.27. Vista del enganche de acero para placa.

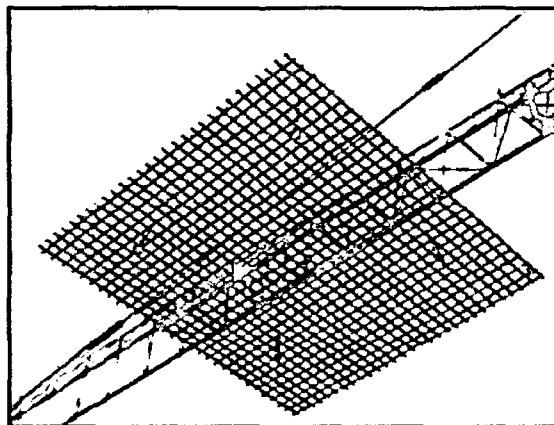


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Traslado de acero pre-armado para placas**

Seguidamente se realiza el traslado del acero pre-armado al lugar correspondiente, particularmente se debe tener especial cuidado con el traslado de estos elementos, es así que cada uno de los aceros que conforman estos elementos deben estar correctamente sujetos.

Figura N° 5.28. Vista del traslado de acero para placa.



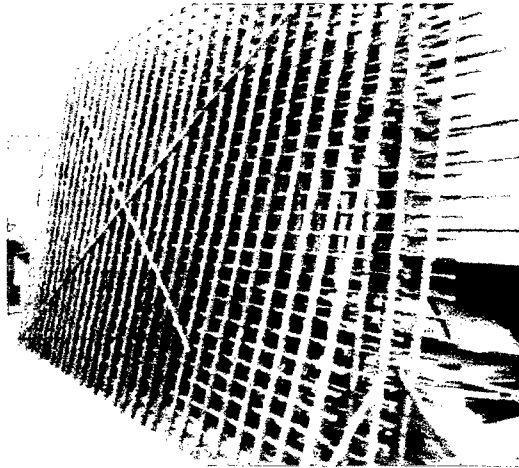
Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Colocación de acero pre-armado**

Dado que el acero pre-armado para placas tiene dimensiones grandes, estos elementos deben ser

sujetados con alambres para completar la colocación, y garantizar que no se desplacen.

Figura N° 5.29. Vista de la colocación de acero para placa.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Traslado de encofrados para placas**

Los encofrados para placas se trasladan con mucho cuidado, dado que son los encofrados más grandes de todos los tipos existentes. Se deberán disponer en la disposición deseada, ya sea vertical u horizontal; con la finalidad de facilitar el proceso siguiente.

Figura N° 5.30. Vista del traslado de encofrado para placa.

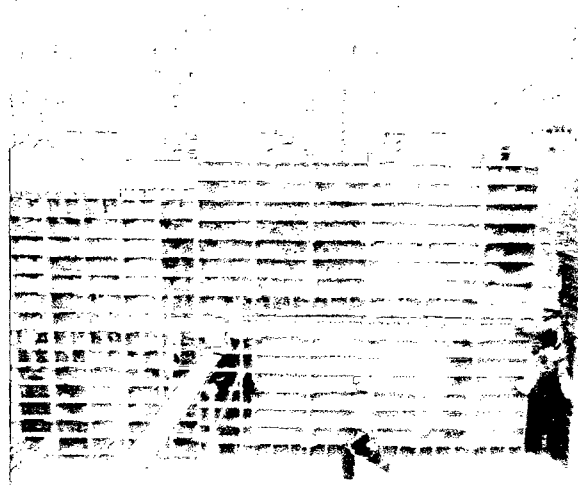


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Colocación de encofrados para placas**

En este proceso se procederá con el fijado propiamente dicho del encofrado, es decir se ubicará el encofrado de la placa en el lugar respectivo, con ayuda del conjunto de tornillos con los que se dispone en el elemento a ubicar.

Figura N° 5.31. Vista de la colocación de encofrado para placa.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

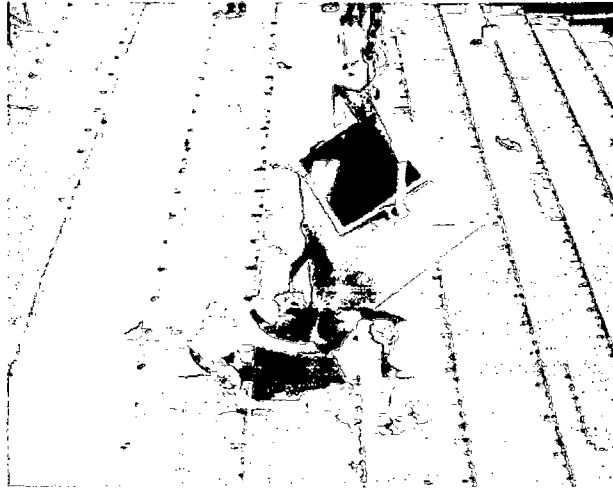
#### 5.1.1.5 Proceso de construcción de otro tipo de elementos

En este caso se pueden mencionar los elementos que se elaboraron en rampas para ingreso exterior, tales como las rampas para discapacitados, asimismo podemos mencionar la construcción de muros. Este tipo de elementos no fueron construidos íntegramente con elementos pre-fabricados, puesto que no eran elementos críticos para la continuación con otros procesos.

- **Vaciado de concreto con baldes para concreto**

Este procedimiento es similar a cuando se tiene un recipiente que transporta un líquido para posteriormente ser vaciado. Del mismo modo con el recipiente denominado “balde de concreto”, llenamos este con concreto, luego se traslada el recipiente con la Grúa Torre al lugar donde se realizará el vaciado y finalmente se realiza el vaciado del elemento respectivo.

Figura N° 5.32. Vista del balde de concreto.

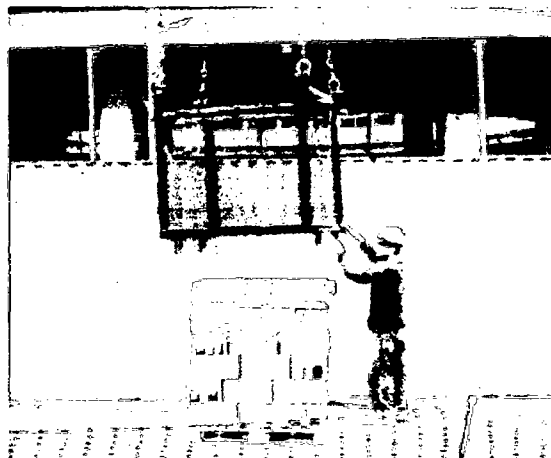


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

- **Construcción de muros**

Los trabajos de construcción de muros se desarrollan con apoyo de las Grúas Torre, ya sea para los traslados de las bloquetas de concreto desde la zona de llegada del camión de transporte hacia la zona de requerimiento de estas; así como el armado de andamios aéreos para realizar los acabados de muros laterales a los que no se puede tener acceso (caso de muros elevados extremos).

Figura N° 5.33. Vista de parrilla para traslado de bloques de concreto.



Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.



## 5.1.2 Actividades provisionales

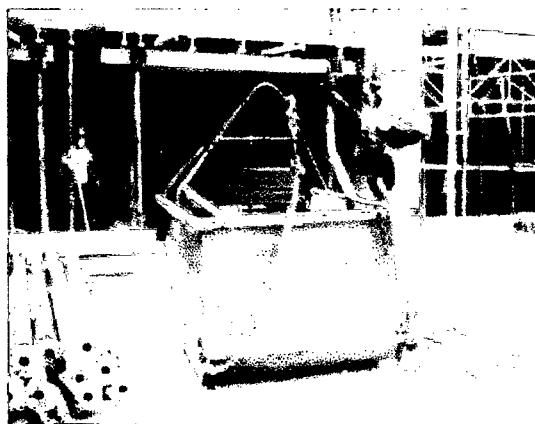
Las Grúas Torre además de realizar trabajos netos de construcción (actividades de producción), también realizaban trabajos provisionales, a continuación solamente señalaremos algunas de las tantas actividades que se llevan a cabo.

### 5.1.2.1 Traslado de cajas ecológicas

En toda obra siempre se generan desperdicios, originados en algunos procesos por la aparición de materiales remanentes. Entre esos procesos tenemos los vaciados de elementos estructurales, los remanentes por el uso de maderas, entre otros materiales que no pueden ser vueltos a usar. Es así que toma gran importancia contar con vasijas mediante las cuales se elimine los desperdicios generados en los trabajos diarios.

El procedimiento de eliminación de desechos, se realiza mediante estas “cajas ecológicas” y con ayuda de las Grúas Torre para su traslado. Son denominadas cajas ecológicas por tratarse de un elemento que tiene como objetivo la preservación del medio ambiente, evitando las contaminaciones en el entorno de trabajo.

Figura N° 5.34. Vista de la caja ecológica.



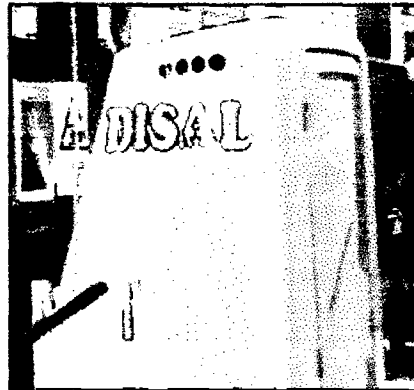
Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

### 5.1.2.2 Traslado de baños ecológicos

El factor fisiológico es inevitable, se sabe que el recurso humano siempre está supeditado a la fisiología humana, de manera que en el área de trabajo nunca debe faltar un baño.

Los baños ecológicos deben ser trasladados a distintos puntos de la obra, con la finalidad de reducir los tiempos muertos de la mano de obra. Estos elementos esenciales se trasladan con ayuda de las Grúas Torre, ya sea para la limpieza de estos como para el uso interno en la obra de la mano de obra.

Figura N° 5.35. Vista del baño ecológico.



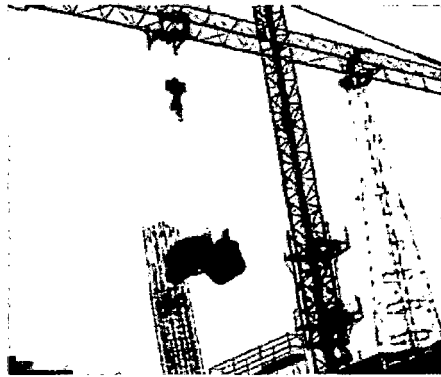
Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

### 5.1.2.3 Traslado de maquinaria pequeña

Dada la gran capacidad de carga de las Grúas Torre (Grúa Torre MC115 puede trasladar un peso máximo de 6 Tn y la Grúa Torre MC85 puede trasladar un máximo de 5Tn).

De tal manera que es posible trasladar máquinas pequeñas, tales como aplanadoras, faja transportadora, mini - telehandler, bodcat, etc.

Figura N° 5.36. Vista de traslado de aplanadora.



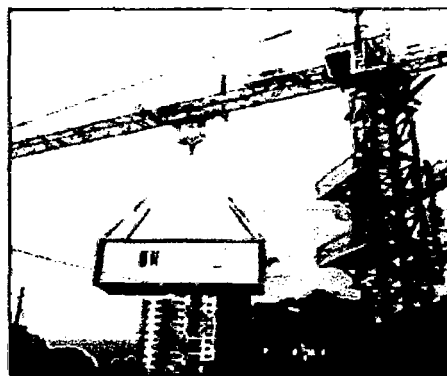
Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

#### 5.1.2.4 Traslado de cabinas y muebles (mesas, asientos, lockers, etc.)

Al inicio de toda obra es necesario realizar traslados de cabinas para oficinas. Además muchas veces se hace necesario el uso de ciertos muebles en obra, ya sea para el uso en actividades de producción como en el uso de actividades provisionales.

Entre los muebles que se emplean para realizar actividades de producción se tienen las mesas, sobre las cuales se suelen realizar trabajos de carpintería, también suelen ser usadas para apoyar una gran variedad de materiales sobre las mesas, como ejemplo tenemos a las varillas de acero.

Figura N° 5.37. Vista del traslado de cabinas para oficinas.

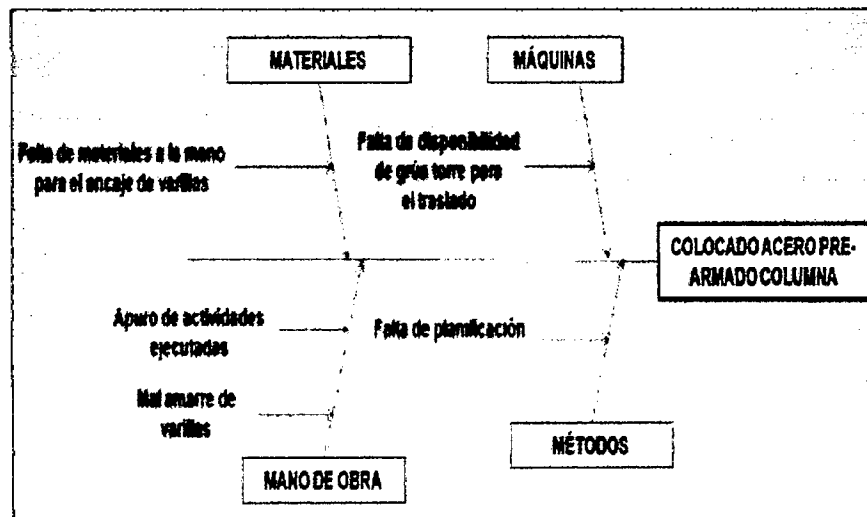


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

### 5.1.3 Identificación de causas de problemas con Diagramas de Ishikawa

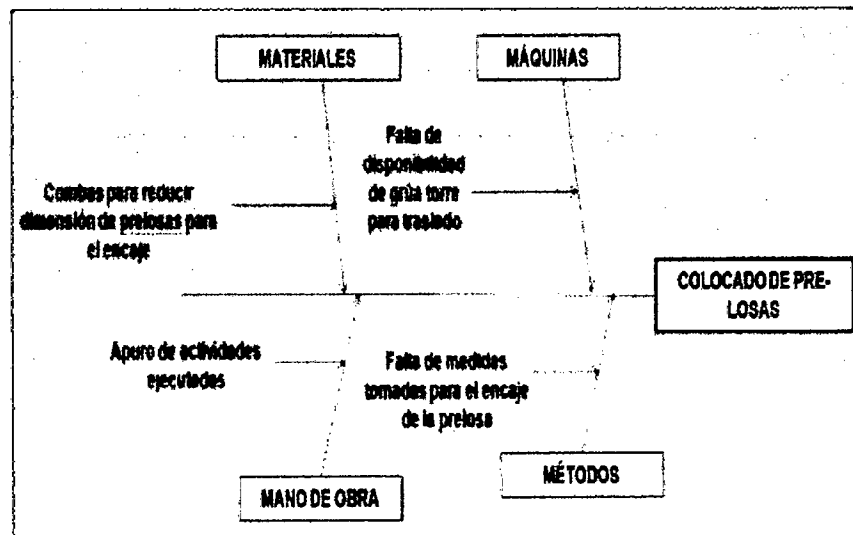
Además de realizar la identificación de los procesos que desarrollaban cada una de las grúas también se identificó las causas de cada uno de los problemas existentes en algunas actividades. Para ello se elaboró el diagrama de Ishikawa o diagrama de la espina de pescado, para cada uno de los problemas percatados en campo.

Figura N° 5.38. Diagrama de Ishikawa para acero pre-armado de columna.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5.39. Diagrama de Ishikawa del colocado de prelosas.



Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 MEDICIÓN

En esta segunda etapa de análisis de la eficiencia de las Grúas Torre, se realizaron los trabajos en campo orientados a la adquisición de datos cronometrados, para ello se realiza un plan de visitas a campo. Este plan consta de realizar muestreos de las actividades que ejecutan cada una de las Grúas Torre, estos muestreos constan del registro de cada movimiento realizado por cada una de las Grúas Torre minuto por minuto, de manera que se cuente con una base de datos confiable que sirva para la próxima etapa a desarrollar, solo para mencionar que los únicos materiales que se utilizaron fueron un cronómetro, una cámara fotográfica y una tabla de apuntes.

De acuerdo a la planificación previa de las labores que se tenían proyectadas para cada Grúa Torre, era necesario realizar muestreos en dos turnos, tanto en el turno de la mañana como en el turno de la tarde, puesto que para cada uno de los turnos se tenían asignadas labores totalmente diferentes.

Se realizaron los muestreos para las dos etapas de la construcción estructural del edificio, la etapa de construcción de la estructura de los sótanos y la etapa de construcción de los pisos superiores. Cada una de estas etapas suponía diferentes planeamientos, debido a la variación de la configuración estructural a desarrollar.

A continuación se explica el panorama del desarrollo de las labores de ambas Grúas Torre, para señalar cuáles fueron las razones de la necesidad del estudio y la posterior toma de muestras dentro del plan de trabajo de cada una de ellas. Cada una de las observaciones y medidas de tiempo realizadas se obtuvieron del Proyecto del Edificio Educativo Universidad del Pacífico.

### 5.2.1 Consideraciones del Muestreo a la Grúa Torre 1 (MC 115)

Se partió de la base de una programación tentativa desarrollada en la etapa de planificación, de la cual se originó una programación diaria para la Grúa Torre 1 (Tabla N° 5.2).

Tabla N° 5.2. Programación diaria – Grúa Torre 1.

Horario	GRUA N°1
7:30 - 8:00	Acero Vertical
8:00 - 9:00	Acero Vertical
9:00 - 10:00	Costado y Apunt.
10:00 - 11:00	Encofrado Vertical
11:00 - 12:00	Prelosa
12:00 - 13:00	Almuerzo
13:00 - 14:00	Prelosa
14:00 - 15:00	Prelosa
15:00 - 16:00	Prelosa
16:00 - 17:00	Movimiento Pre-armado
17:00 - 18:00	Carga y Descarga
18:00 - 19:00	Carga y Descarga

Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

Según lo mostrado en la tabla N° 5.2, la Grúa Torre 1 en el turno de la mañana en el horario de 7:30 a.m. a 9:00 a.m. debería realizar traslados para el proceso de colocación de acero pre-armado para columnas. Es decir teóricamente la Grúa Torre 1 nos tendría que brindar 90 minutos de tiempo en traslado de elementos para el proceso mencionado, afirmación que es una utopía, puesto que sabemos que del total de tiempo contabilizado siempre existirán tiempos complementarios necesarios para el logro de otras actividades, tales como el enganche de materiales, el traslado de materiales, etc.

Después del trabajo desarrollado en campo, se aprecia que las labores de inicio pactadas para la Grúa Torre 1 en el teórico horario de 7:30 a.m. a 9:00 a.m., realmente inicia media hora después, es decir por lo general los trabajos de la Grúa Torre 1 inician a las 7:45 a.m. de manera que el tiempo realmente disponible para el primer turno es de 75 minutos aproximadamente, y en general para todos los turnos siempre hay tiempos perdidos.

Para el horario de 9:00 a.m. a 11:00 a.m. según la planificación desarrollada, la Grúa Torre 1 debería realizar traslados de materiales para que se desarrollen procesos constructivos. En el horario de 9:00 a.m. a 10:00 a.m. debería realizar traslados de materiales para procesos de apuntalamientos para colocación de fondos de vigas y en el horario de 10:00 a.m. a 11:00 a.m. debería realizar traslados de materiales para procesos de colocación de encofrado para columnas y placas (si hubiesen). Se menciona esto último, respecto al encofrado de placas, debido a que de acuerdo a la configuración estructural, no se presentaban placas en todos los niveles.

Después del trabajo realizado en campo, se aprecia que la labor más predominante en el horario de 9:00 a.m. a 10:00 a.m. es el proceso de traslado de puntales, desde la zona de carga asignada a la Grúa Torre 1 hacia el sector respectivo de armado de puntales y en menor medida se aprecia procesos de colocación de fondos de vigas. Para este caso se observó que la planificación no había previsto que la disponibilidad de puntales en el sector de trabajo era un punto crítico para la colocación de fondos de vigas. Además se observó que los trabajos de traslado de puntales y colocación de fondo de viga no podían realizarse en paralelo, debido a que la Grúa Torre sujetaba el fondo de viga, de manera que se esperaba el término de la colocación del fondo de viga para dar inicio al traslado de los puntales. (Se recomendó planificar anticipadamente la llegada de los puntales y la posible colaboración de la otra grúa).

En tanto que para los trabajos de 10:00 a.m. a 11:00 a.m. sucedía que en ocasiones faltaban elementos tipo columnas a los cuales poder encofrar, de manera que no se realizaban estos procesos, sino que se cambiaban por otros trabajos, de traslado principalmente. Este hecho se producía principalmente por los retrasos ocurridos en labores precedentes, como por ejemplo la demora de la colocación del acero pre-armado para la columna.

Para el horario de trabajo de 11:00 a.m. a 12:00 m. según lo planificado, a la Grúa Torre 1 le correspondía realizar traslados de elementos para la colocación de prelosas. Es decir, teóricamente la Grúa Torre nos debería ofrecer 60 minutos de traslados con elementos tipo prelosa, pero como mencionamos anteriormente esta idea es solo una utopía, puesto que considerando diversos aspectos que se desarrollan en el tiempo total de trabajo, tales como esperas por llegada de material, aspectos biológicos de los operarios, etcétera; el tiempo neto de traslado disminuye.

En las observaciones de campo se apreció que el tiempo teórico de trabajo disminuye de 60 minutos a 45 minutos, principalmente debido a diversas actividades adicionales que se realizan y a la proximidad del horario para el almuerzo, ya que se observó que el personal adelantaba su hora de almuerzo. Las actividades adicionales a las que se hace referencia son principalmente debidas a trabajos que a continuación se señalan:

- Acomodo correcto de ganchos en elementos tipo prelosas.
- Traslado de prelosas desde la zona de llegada del camión de carga hacia el sector de colocación de la prelosa.
- Ausencia de operadores (riggers) por demora de llegada a punto de descarga por dificultad de acceso a dicha zona.

El horario de 12 m. a 1:00 p.m. era el horario de comida, horario que no fue considerado dentro del análisis del estudio. Como se mencionó anteriormente, generalmente el personal abandonaba las labores 10 minutos antes del inicio del horario de almuerzo, debido principalmente a decisiones del capataz y falta de control del ingeniero responsable. En general el adelanto o retraso de la hora de almuerzo dependía del tipo de traslados que se estaba produciendo, es decir, si el traslado que se estaba realizando era para procesos que agregaban valor, los encargados convenían en prolongar unos minutos más el horario, antes de ir a comer. Dado que la Grúa Torre 1 era la que realizaba mayor porcentaje que la Grúa Torre 2 en este



tipo de procesos, la Grúa Torre 1 prolongaba su horario de trabajo entre 15 a 20 minutos más.

En el horario de 1:00 p.m. a 2:00 p.m., de 2:00 p.m. a 3:00 p.m. y de 3:00 p.m. a 4:00 p.m. según la programación, la Grúa Torre 1 debería realizar traslados para la colocación de prelosas. Es decir teóricamente se tendría un total de 180 minutos disponibles para realizar este tipo de traslados, pero como mencionamos anteriormente, solamente en parte de todo ese tiempo se ejecutaban traslados para la colocación de prelosas, el resto del tiempo se invertía en otro tipo de traslados, anteriormente señalados. Esta parte debería ser la continuación de los trabajos ya iniciados en el horario de 11:00 a.m. a 12:00 m., de manera que se debería ganar agilidad en todo este intervalo de tiempo, ya que lógicamente es una actividad repetitiva, siempre y cuando se tengan paños de prelosas de formas similares, ya que en algunos sectores las formas y dimensiones de las prelosas variaban, en mayor medida para la etapa de construcción de la estructura de los pisos superiores, puesto que contaba con una área elíptica que formaba parte de uno de los lados de varias de las prelosas por colocar.

En los trabajos en campo se observó que en ocasiones el re-inicio de actividades, después del horario de almuerzo, se realizaba después de la hora pre-establecida, de acuerdo al tiempo prolongado antes del inicio del almuerzo (entre 15 a 20 minutos).

Las actividades en el horario de 4:00 p.m. a 5:00 p.m. fueron planificadas para el desarrollo del traslado de acero pre-armado, de manera que se vaya avanzando con el trabajo venidero del día siguiente.

En las labores en campo se observó demoras en el pre-armado de los aceros previamente al inicio del enganche de cada uno de los elementos pre-armados.

Los trabajos a desarrollar por la Grúa Torre 1 en el horario de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. preveían la carga o descarga de diverso tipo de elementos.

En campo se llegó a observar que los trabajos en este horario no solamente se enmarcaban en traslados de materiales para procesos constructivos, sino que a su vez en muchas ocasiones se realizaban traslados para procesos provisionales, debido principalmente a retrasos en trabajos de mucha importancia, los cuales no podían retrasarse para continuar con el cronograma previamente establecido. Esa es la razón por la cual este horario servía como un “tiempo extra” para realizar una nivelación general de todos los trabajos no finalizados, según el cronograma planificado.

### 5.2.2 Consideraciones del Muestreo a la Grúa Torre 2 (MC 85)

Del mismo modo que para la Grúa Torre 1, Se partió de la programación tentativa desarrollada en la etapa de planificación, de la cual se originó una programación diaria para la Grúa Torre 2 (Tabla N° 5.3).

Tabla N° 5.3. Programación diaria - Grúa Torre 2.

Horario	GRUA N°2
7:30 - 8:00	Acero Vigas
8:00 - 9:00	Acero Vigas
9:00 - 10:00	Acero Vigas
10:00 - 11:00	Encofrado Fondos
11:00 - 12:00	Encofrado Fondos
12:00 - 13:00	Almuerzo
13:00 - 14:00	Encofrado Fondos
14:00 - 15:00	Encofrado Fondos
15:00 - 16:00	Movimiento Prearmado
16:00 - 17:00	Piedras -Vaciados
17:00 - 18:00	Montajes Especiales
18:00 - 19:00	Montajes Especiales

Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

De acuerdo al programa de planificación ya visto, los trabajos de la Grúa Torre 2 en el horario de 7:30 a.m. a 10:00 a.m. que debería realizar son traslados para la colocación de acero pre-armado para vigas. Estos trabajos deberían realizarse con las cargas ya listas para su traslado y con todos los trabajos anteriores ya terminados, para este caso de la colocación de acero pre-armado para vigas, ya debería estar finalizada la colocación de los puntales y los fondos de vigas.

En las observaciones en campo se apreciaron similares problemas que con la Grúa Torre 1, la hora de inicio de las labores por parte de la Grúa Torre 2 no eran precisamente a las 7:30 a.m., las labores cotidianamente iniciaban 10 a 15 minutos después. Este hecho generalmente se debía a la tardanza de los operadores en el arribo hacia el lugar de trabajo. Por otro lado existieron demoras en la disponibilidad de cargas para su traslado, ya que recién en este horario se iniciaba el armado de estos elementos, de manera que la Grúa Torre 2 en estos tiempos disponibles, realizaba otro tipo de trabajos, básicamente dichos trabajos eran otros traslados, los cuales se mencionan a continuación:

- Traslado dentro de la obra de elementos recién llegados en camiones de carga, tales como madera, varillas de acero, etcétera.
- Traslado de materiales de un sector de la obra a otro, puesto que muchos de los materiales llegados a obra se almacenaban en zonas despejadas, pero siempre y cuando no interrumpiera el desarrollo normal de actividades de trabajo, de tal manera que era mucho más productivo trasladar elementos con la Grúa Torre.
- Traslado de elementos desde el interior de la obra hacia fuera de la obra, tales como desperdicios generados en los trabajos en el día anterior, estos residuos se trasladaban fuera de la obra en las "cajas ecológicas".

El siguiente horario planificado de trabajo correspondía desde las 10:00 a.m. a 12 m., horas en las cuales se debería realizar traslados de elementos para la colocación de encofrados y fondos de vigas, lo ideal debería ser continuar con el tren de actividades programado, de manera que una vez terminados los trabajos de colocación del sistema de aceros pre-armados sobre las vigas, se continuaría con la colocación de encofrados laterales para que las vigas queden listas para el vaciado respectivo. Seguidamente al término del trabajo de todos los encofrados laterales de las vigas correspondientes, se realizaría la colocación de fondos de vigas para otro sector de trabajo, con la finalidad de tener frente para la continuación de los trabajos a más tardar el día siguiente.

En la recolección de muestras realizadas en campo, se observó que los trabajos se desarrollaban dinámicamente dependiendo de la disponibilidad de vigas ya colocadas con sus refuerzos de acero pre-armado para iniciar con el colocado de encofrado lateral, se observó que en varias ocasiones no se contaba con este requisito por lo que este trabajo quedaba estancado, debido a que aún se estaba colocando el acero pre-armado y en el peor de los casos aún se estaba habilitando el acero pre-armado. Otro punto que cabe señalar es la disminución del ritmo de trabajo, debido a la cercanía de la hora del almuerzo, a 10 minutos del mediodía los trabajos se tornaron menos ágiles.

El horario después del término del almuerzo, pactado desde la 1:00 p.m. a 3:00 p.m. consistía en el desarrollo de similares actividades al del horario anterior, es decir se desarrollaría traslados de elementos para la colocación de encofrados y fondos de vigas, con lo cual ya se podía tener prácticamente listas las vigas para poder vaciarlas.

En la visita en campo se observó que en este horario recién se tornó más ágil todos los trabajos que se debían realizar, pero no desde el inicio del horario, sino que conforme iban pasando los minutos esto

se iba acentuando. El hecho de que recientemente se haya terminado con el almuerzo influye sobre el ritmo de trabajo de los obreros, puesto que el cuerpo se encuentra más pesado inmediatamente después de ingerir alimentos.

En el horario de 3:00 p.m. a 4:00 p.m. según la programación, la Grúa Torre 2 debería realizar traslados de acero de refuerzo pre-armado.

En la siguiente hora, es decir de 4:00 p.m. a 5:00 p.m. se realizaría trabajo correspondiente a vaciados para elementos estructurales, siguiendo pautas del tren de actividades que se mencionó en el capítulo anterior. Para finalizar con la programación concierne a la Grúa Torre 2, en las 2 últimas horas se deberían realizar labores especiales, principalmente en lo que concierne a montajes.

Como se ha explicado, para las mediciones realizadas en campo se tomó como referencia la planificación ya establecida, de manera que además de recolectar datos para realizar estadísticas acerca de la productividad de las Grúas Torre, se comprobaba el cumplimiento del Plan de Grúas desarrollado.

La importancia de realizar las observaciones en campo, que se han detallado, como ya se ha mencionado anteriormente tenía un valor agregado, puesto que se realizaba la función de supervisión de los trabajos que realizaban las Grúas Torre.

### **5.2.3 Uso del Diagrama de Pareto**

Todas las mediciones realizadas de las actividades de las Grúas Torre tomadas en campo se trasladaron a una base de datos (Tablas N° 5.4 y N° 5.5), las cuales se organizaron según el criterio de construcción de Diagramas de Pareto.

De manera que se cuantificará la incidencia de todas las actividades tomadas en cuenta para la medición, y se podrá observar con este diagrama el porcentaje de actividades más incidentes en el trabajo de las Grúas Torre. Con este diagrama se puede observar los porcentajes de frecuencia de los problemas más importantes, con lo cual se pueden identificar los defectos a los cuales atacar, para mejorar la productividad de las Grúas Torre.

Asimismo de todas las actividades consideradas en las mediciones realizadas en campo se escogieron aquellas que resultaban causales de problemas y por ende afectaban la productividad de las Grúas Torre, los resultados de estos análisis obtenidos de dos diagramas de Pareto, una para cada Grúa Torre, se entregan en el capítulo siguiente (Capítulo VI: Cálculos y resultados).

Tabla N° 5.4. Tabla de actividades principales realizadas por la Grúa Torre 1.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
D	Enganche y desenganche (Riggers)
T	Tiempos de espera
O	Otros traslados
SC	Viaje sin carga
E	Traslado de encofrado
PR	Traslado de prelosa
CE	Colocacion de encofrado
CP	Colocación de prelosas
W	Carga suspendida
A	Traslado de varillas de acero
FV	Traslado fondo viga
I	Interferencia de gruas
F	Colocación de fondo de vigas
N	Traslado de puntales
S	Traslado de soportes para puntales
EP	Traslado de encofrado de placas
TV	Traslado de viga prearmada
C	Colocación de columna prearmada
TP	Traslado de placa prearmada
TC	Traslado de columna prearmada

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5.5. Tabla de actividades principales realizadas por la Grúa Torre 2

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
D	Enganche y desenganche (Riggers)
T	Tiempos de espera
SC	Viaje sin carga
A	Traslado de varillas de acero
O	Otros traslados
TV	Traslado de viga pre-armada
E	Traslado de encofrado
TC	Colocación de columna pre-armada
V	Colocación de viga pre-armada
W	Carga suspendida
PR	Traslado de pre-losa
EP	Traslado de encofrado de placas
FV	Traslado fondo de vigas
N	Traslado de puntales
CP	Colocación de placa pre-armada
F	Colocación de fondo de vigas
CE	Colocación de encofrado
TC	Traslado de columna pre-armada
TP	Traslado de placa pre-armada
I	Interferencia de grúas
P	Colocación de pre-losas

Fuente: Elaboración propia

Una vez definida la lista de todos los problemas vitales o denominados también “pocos vitales”, se atacan directamente a cada uno de estos, para ello se usan los Diagramas de Ishikawa elaborados anteriormente con la finalidad de elaborar acciones que puedan mitigar dichos problemas; estas acciones serán presentadas en la parte correspondiente al acápite 5.4 de este capítulo, denominado Intervención.

### 5.3 EVALUACIÓN

La metodología para la evaluación de la productividad de las Grúas Torre se basó en la preparación y elaboración de Cartas Balance de los procesos constructivos en el cual las Grúas Torre se encuentran inmersas, con el fin de detectar los porcentajes de trabajos no contributivos (TNC), los trabajos contributivos (TC) y los trabajos productivos (TP). El procedimiento a seguir consiste en la toma de datos en campo, posteriormente a la elaboración de

las Cartas Balance se realizan recomendaciones para mejorar la productividad de uso de las Grúas Torre, de manera que se mejoren los procesos constructivos en los que intervienen las Grúas Torre. Las recomendaciones se tomaban en consideración para aplicar en campo, en beneficio del aumento de la productividad de la obra.

Tomando la información disponible de los procedimientos desarrollados en la fase de Identificación (primera etapa del análisis), el cual permitió informar acerca de todos los tipos de actividades que se desarrollaban en la obra, y en la segunda fase (Medición) en lo concerniente a la recolección de muestreos de los tiempos de las actividades identificadas en la primera fase, se realizó el proceso de diferenciación de cada uno de los procesos en los tres tipos de trabajos desarrollados por la mano de obra, en los cuales toman parte las Grúas Torre; es decir se clasificó cada actividad en Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributorio (TC) y Trabajo No Contributorio (TNC).

Con los trabajos realizados en campo, se elaboraron Cartas Balance para cada una de las Grúas Torre, diferenciando los turnos de trabajo que se tenía en una jornada diaria, es decir se realizaron Cartas Balance para el turno de la mañana y para el turno de la tarde.

A continuación se presentarán listas de las actividades más importantes de acuerdo al tipo de trabajos desarrollados por la mano de obra, en los cuales forman parte las Grúas Torre, es decir, de toda la gama de trabajos presentados anteriormente en la fase de Identificación, se clasificarán las actividades según tipo de trabajo.

### **5.3.1 Trabajos productivos (TP)**

Como ya se mencionó anteriormente, estos tipos de trabajos son los que van elaborando el producto final, es por ello que son los trabajos más importantes que el proyecto contempla. A continuación se presenta una lista con algunos ejemplos de los trabajos productivos que se observaron en obra.



- Construcción de columnas
- Construcción de vigas
- Construcción de losas
- Construcción de placas

### 5.3.2 Trabajos contributorios (TC)

Como se ha señalado en anteriores oportunidades, este tipo de trabajo literalmente contribuye al logro del avance del producto final, mediante una serie de actividades que colaboran con los trabajos productivos. A continuación se presenta un listado dividido según tipo de trabajo productivo con los que colaboran los trabajos contributorios, los que se encuentran listados por sub-viñetas.

- Construcción de columnas
  - Enganche de acero pre-armado
  - Traslado de acero pre-armado para columna
  - Desenganche de acero pre-armado
  - Enganche de encofrados laterales
  - Traslado de encofrados laterales para columnas
  - Desenganche de encofrados laterales
- Construcción de vigas
  - Enganche de encofrado de fondo de viga
  - Traslado de encofrado de fondo de viga
  - Desenganche de encofrado de fondo de viga
  - Enganche de acero pre-armado
  - Traslado de acero pre-armado para viga

- Desenganche de acero pre-armado
- Enganche de encofrados laterales
- Traslado de encofrados laterales
- Desenganche de encofrados laterales
- Construcción de losas
  - Enganche de prelosas
  - Traslado de prelosas
  - Desenganche de prelosas
  - Traslado de acero negativo para losas
- Construcción de placas
  - Traslado de acero pre-armado para placas
  - Traslado de encofrados laterales para placas

### 5.3.3 Trabajos no contributorios (TNC)

Este tipo de actividad es uno de los intereses de la presente investigación, ya que se pretende evaluar la dimensión en la que se produce este tipo de trabajo, A continuación se realiza una lista con los tipos de trabajo no contributorios identificados en las visitas de campo.

- Tiempos de espera para enganchado, desenganchado, carga y descarga de materiales
- Carga suspendida por detención de Grúa Torre
- Interferencia de Grúas

### 5.3.4 Evaluación de trabajos con Cartas Balance




Se tomaron los muestreos realizados en campo en la fase anterior, los cuales se transportaron a hojas de cálculo. El objetivo de elaborar las Cartas Balance es de clarificar el modo de inversión del tiempo por parte de las Grúas Torre, es decir por medio de la codificación por colores se visualiza la división de trabajo que realiza cada Grúa Torre, de modo que resulte posible comparar el cronograma de trabajos de las Grúas Torre con las cartas balance elaboradas. A su vez nos permite calcular el porcentaje de trabajo de cada actividad desarrollada, y también en conjunto el cálculo del trabajo productivo (TP) realizada por la mano de obra, resultado que nos indica el valor de la productividad de los procesos constructivos en las cuales participan cada una de las Grúas Torre, con el trabajo de traslados de materiales que desempeñan.

Para practicidad de la división y diferenciación de las actividades consideradas, se concede a cada actividad una codificación diferente y para el diagrama de barras se asigna a cada actividad un color. Para las barras del diagrama los colores asignados fueron considerados de acuerdo al tipo de actividad, por ejemplo; si una actividad era parte de los trabajos de encofrados, se le asigna el mismo color que al de otras actividades que forman parte de los trabajos de encofrados.

Cabe mencionar que en los movimientos del carro, el tiempo de elevación y el de giro serán absorbidos por el tiempo del procedimiento denominado movimiento sin carga (SC).

Tabla N° 5.6. Tablas de codificación de actividades.

#### Trabajo No Contributorio

	Tiempos de espera
	Carga suspendida
	Interferencia de grúas

### Trabajo Productivo

CP	Colocación de placa prearmada
CE	Colocación de encofrado
P	Colocación de prelosas
F	Colocación de fondo de vigas
V	Colocación de viga prearmada
C	Colocación de columna prearmada
SC	Viaje sin carga

### Trabajo Contributorio

TP	Traslado de placa prearmada
EP	Traslado de encofrado de placas
A	Traslado de varillas de acero
E	Traslado de encofrado
N	Traslado de puntales
S	Traslado de soportes para puntales
FV	Traslado fondo viga
TV	Traslado de viga prearmada
TC	Traslado de columna prearmada
⊗	Enganche y desenganche de elementos
PR	Traslado de prelosa
⊙	Otros traslados

Fuente: Elaboración propia

Como ya se mencionó anteriormente una de las intenciones de elaborar estas Cartas Balance fue para utilizar estas conjuntamente con la tablas N° 5.7 y N° 5.8, correspondientes a la programación de las Grúas Torre (originadas previamente en la etapa de planificación, pero modificadas con la asignación de un color de acuerdo a la actividad), de manera que ambas se puedan comparar con la finalidad de supervisar los trabajos realizados por cada una de las Grúas Torre.

Asimismo se analizó el cumplimiento de todos los trabajos desarrollados por cada uno de los equipos analizados, en el caso de que no se estuviera cumpliendo con lo establecido en la programación prevista, se presentaba estas observaciones en las reuniones entre miembros del equipo de campo, en las cuales se

proponían recomendaciones (serán vistas en la siguiente etapa, fase de Intervención).

Tomándose como ejemplo uno de los días de trabajo en campo (17-01-11), con la finalidad de comparar la tabla de Programación de las Grúas Torre con las Cartas Balance elaboradas dicho día. De acuerdo a las tablas presentadas a continuación, se deberán comparar las tablas N° 5.7 y N° 5.8 con las tablas N° 5.9 y N° 5.10 respectivamente.

Tabla N° 5.7. Programación diaria – Grúa Torre 1, codificada por actividades.

Horario	GRUA N°1
7:30 - 8:00	Acero Vertical
8:00 - 9:00	Acero Vertical
9:00 - 10:00	Costado y Apunt.
10:00 - 11:00	Encofrado Vertical
11:00 - 12:00	Prelosa
12:00 - 13:00	Almuerzo
13:00 - 14:00	Prelosa
14:00 - 15:00	Prelosa
15:00 - 16:00	Prelosa
16:00 - 17:00	Movimiento Pre-armado
17:00 - 18:00	Carga y Descarga
18:00 - 19:00	Carga y Descarga

Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

Tabla N° 5.8. Programación diaria – Grúa Torre 2, codificada por actividades.

Horario	GRUA N°2
7:30 - 8:00	Acero Vigas
8:00 - 9:00	Acero Vigas
9:00 - 10:00	Acero Vigas
10:00 - 11:00	Encofrado Fondos
11:00 - 12:00	Encofrado Fondos
12:00 - 13:00	Almuerzo
13:00 - 14:00	Encofrado Fondos
14:00 - 15:00	Encofrado Fondos
15:00 - 16:00	Movimiento Prearmado
16:00 - 17:00	Piedras -Vaciados
17:00 - 18:00	Montajes Especiales

18:00 - 19:00

Montajes Especiales

Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico – GyM S.A.

Tabla N° 5.9. Carta balance típica (17-01-11) – Grúa Torre 1.

H. Inicio	H. Fin	Actividad
10:24	10:31	Colocación de encofrado
10:31	10:42	Traslado balde para concreto vacio
10:42	11:02	Traslado de encofrado
11:02	11:10	Traslado de anclajes
11:10	11:15	Traslado Tubos de Perforación
11:15	11:36	Colocación de encofrado
11:36	11:39	Traslado motor para soldadura
11:39	11:50	Acarreo de tablas (p/encofrado)
11:50	11:55	Acarreo de tablas (p/encofrado)
Almuerzo		
01:35	02:00	Acarreo de tablas (p/encofrado)
02:00	02:32	Acarreo de tablas (p/encofrado)
02:32	02:46	Acarreo de tablas (p/encofrado)
02:46	02:49	Reubicación de madera para encofrado
02:49	02:55	Traslado balde de vaciado vacio
02:55	03:09	Traslado balde de vaciado vacio
03:09	03:17	Moviendo motor
03:17	04:01	Colocación malla de acero
04:01	04:14	Colocando andamio
04:14	04:44	Moviendo encofrado
04:44	04:54	Moviendo encofrado
04:54	05:01	Acarreo de tablas (p/encofrado)
05:01	05:13	Acarreo de tablas (p/encofrado)
05:13	05:33	Cilindro vacio
05:33	05:47	Traslado de anclajes
05:47	06:02	Traslado Manguera de vaciado de concreto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5.10. Carta balance típica (17-01-11) – Grúa Torre 2.

H. Inicio	H. Fin	Actividad
09:09	10:31	Colocación de encofrado
10:31	10:44	Traslado de encofrado
10:44	10:53	Traslado de encofrado

10:53	10:56	Traslado de encofrado
10:56	11:02	Traslado de encofrado
11:02	11:20	Colocación de encofrado
11:20	11:36	Colocación de encofrado
11:36	11:42	Colocación de encofrado
11:42	11:50	Acarreo de acero
11:50	12:00	Traslado motor para soldadura
Almuerzo		
00:00	01:52	Acarreo de acero
01:52	02:09	Acarreo de acero
02:09	02:21	Traslado de andamio
02:21	02:30	Traslado motor para soldadura
02:30	03:03	Traslado de escalera
03:03	04:00	Colocación de perfil de acero
04:00	04:12	Traslado balde de vaciado vacío
04:12	04:45	Traslado de caja (p/ciertas actividades)
04:45	05:25	Traslado de caja (p/ciertas actividades)
05:25	05:35	Traslado de caja (p/ciertas actividades)

Fuente: Elaboración propia.

Al realizarse una evaluación de las actividades para la Grúa Torre 1, usamos la tabla N° 5.7 y la tabla N° 5.9 para comparar las actividades que habían sido planificadas con las que se habían llevado a cabo en el campo. Para este ejemplo se observa que para el horario entre las 10:00 a.m. a 11:00 a.m. según la planificación realizada con anterioridad se debería realizar traslados de materiales para trabajos de encofrado vertical en toda la hora, pero se aprecia que el trabajo realizado en campo no fue en su totalidad dedicada a labores de encofrado, puesto que en el horario de 10:31 a.m. a 10:42 a.m. se realizó un traslado del balde para concreto sin contenido. En el horario de 11:00 a.m. a 12 m. se debería realizar traslados de materiales para trabajos con prelosas, pero se observa que se desarrollaban trabajos con encofrados y aceros.

Con estas comparaciones se puede identificar si las Grúas Torre se encontraban desarrollando sus actividades de acuerdo a la planificación prevista inicialmente.

De manera similar a las cartas balance presentadas, se elaboraron más cartas balance en campo, llegando a recolectar un total de 1500 minutos en información de campo. Toda esta información se procesó para luego ser presentada en el capítulo VI (Cálculos y resultados), además el resto de las cartas balance se presentan en la parte de anexos de esta tesis.

## **5.4 INTERVENCIÓN**

Como ya se mencionó anteriormente, esta etapa se realizó en pleno funcionamiento de las actividades de las dos grúas torre; es decir, que al realizarse las visitas a campo y al tomarse todas las observaciones posibles, principalmente en lo que respecta a tiempos muertos; se procedía a la elaboración de recomendaciones.

De manera que se elaboraban recomendaciones todas las semanas, y se presentaba cada una de estas en las reuniones semanales de producción en campo.

A continuación se presentarán las recomendaciones elaboradas, para su presentación en las reuniones de producción de todas las semanas, como previamente se mencionó, las recomendaciones que se presentarán a continuación siguieron un proceso mediante el cual se elaboraron cada una de ellas.

Como se mencionó en el primer capítulo, en la parte concerniente a los objetivos perseguidos, las recomendaciones estaban orientadas esencialmente a mitigar las actividades que producían trabajo no contributivo, denominados también "tiempos muertos".

### **5.4.1 Recomendación para evitar los tiempos de espera**

El problema de los tiempos de espera, resulta siendo evidentemente una de las actividades clasificadas dentro de los denominados "tiempos muertos", de manera que es imprescindible evitar estos



tiempos, por el impacto negativo que origina sobre la productividad de algún proceso en desarrollo.

Por lo general este tipo de situaciones se producen cuando cualquiera de las grúas torre se encuentran detenidas, es decir se encuentran en espera de realizar algún trabajo. Este tipo de contratiempos, se presentan principalmente debido a la falta de coordinación de procesos anteriores y posteriores del flujo de actividades que se desarrollan con las grúas torre.

La recomendación para esta situación consistió en 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 la empaquetadura de los materiales para ser trasladados, de manera que son agentes agilizadores de los procesos que se desarrollan con las grúas torre.

#### **5.4.2 Recomendación para evitar las interferencias de las dos grúas**

Uno de los problemas identificados en campo, causantes de “tiempos muertos”, son las interferencias que se producen entre ambas grúas. Cabe mencionar que este problema se producía en situaciones en las que la grúa torre 2 se encontraba descargando elementos, de tal manera que el gancho que soporta los elementos, conjuntamente con los cables que soportan el gancho se encuentran totalmente desplegado, de manera que en el caso la pluma de la grúa torre 1 se tendría que desplazar en la dirección de la ubicación del despliegue del gancho de la otra grúa torre, la pluma de la grúa torre 1 no puede seguir su desplazamiento normal.

La recomendación elaborada para este percance consistió en establecer el diálogo con los operadores de ambas grúas, con la finalidad de que ambos puedan mantenerse informados de las acciones que realizarán cada una de las otras grúas, y mantenerse

alertas sobre las posibles acciones que podrían causar el origen de tiempos muertos de este tipo.

#### **5.4.3 Recomendación para evitar carga suspendida**

Otra de las formas detectadas en campo, en la cual se origina el denominado “tiempo muerto”, se produce en el instante en el cual una grúa torre con carga en movimiento se detiene intempestivamente, debido a alguna circunstancia que obliga a la grúa torre a su detención.

Una de las razones principales para que se produzca este evento es la interrupción del flujo del proceso que se encuentra llevándose a cabo por la demora del término del proceso predecesor, dejando a la grúa torre con alguna carga suspendida debido a la falta de frente para la continuación del proceso. Se recomendó el análisis previo de la actividad que se deseaba realizar, con la finalidad de detectar posibles problemas que conlleven a este percance.

#### **5.4.4 Recomendación para evitar paras por falta de labores para las grúas**

Si bien es cierto este problema podría ser considerado parte de los procedimientos catalogados como tiempos de espera, pero ciertamente el problema por tiempos de espera es un periodo más corto, a diferencia de un problema por detención de grúa debido a la falta de labores, la cual según se apreció en los trabajos en campo se prolongaban más tiempo.

Este tipo de contratiempos se generan principalmente por la falta de previsión de los procedimientos a ejecutarse, de tal forma que las grúas torre se quedan sin realizar labores, sobre todo si no realiza trabajos importantes. Se observaron este tipo de circunstancias en campo, pero fueron poco recurrentes, de modo que de todas maneras se tuvo como una referencia.

Para contrarrestar este problema se recomendó 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.

#### **5.4.5 Recomendación en la demora de la colocación del acero para una columna pre-armada**

Para evitar el problema de la demora en la colocación de acero para la columna se recomendó asegurar correctamente las varillas de acero remanentes de las columnas ya ubicadas, de manera que al momento de colocar las nuevas varillas, no se produzcan incompatibilidades en la colocación entre las nuevas y las antiguas varillas (por edad de haber sido colocadas).

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.

#### **5.4.6 Recomendación en la demora de la colocación de prelosa**

En el procedimiento de colocación de pre-losa el único problema que se detectó consistía en la dificultad para el encaje de cada elemento en alguno de los paños designados, es decir; el elemento prelosa que se pretendía colocar no tenía las dimensiones exactas. Otra dificultad se originó cuando se tenía que colocar prelosas contiguas a los muros pantalla, ya que se tenían que picar los muros pantalla para sostener las prelosas, y en determinadas ocasiones la dimensión del picado no era el suficiente, de manera que recién llegado el momento en el que la pre-losa se encontraba lista para su colocación, se completaba con el picado del muro pantalla.

La recomendación que se planteó para aplacar este problema consistió en corroborar las medidas de las prelosas que se deseaba

colocar en el correspondiente paño, de manera que si se detectaba una incompatibilidad de dimensiones se debería proceder con la adecuación de acuerdo a lo necesitado. Por ejemplo, en el caso se deba disminuir las dimensiones de una pre-losa, se tendría que cortar lo necesario con un disco eléctrico.

De igual manera para el caso de la falta de picado en el muro pantalla, se recomendó revisar con anticipación a las acciones, las dimensiones de las prelosas, los paños y el espacio que se necesitaba picar en el muro pantalla, de manera que no se produzca un tiempo muerto del tipo carga suspendida.

#### **5.4.7 Recomendación en la demora de la colocación de 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, con lo cual el tiempo invertido por la grúa torre en este procedimiento se acrecentaba.

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, en el cual se encuentra inmerso la grúa torre.

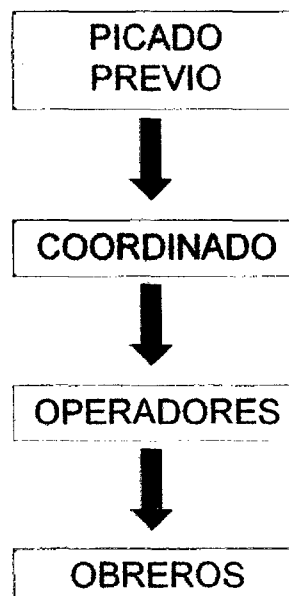
#### **5.4.8 Recomendación para evitar la distracción del personal**

Si bien es cierto existen muchos problemas más, los cuales podrían ser en muchos casos considerados como incluyentes en los problemas anteriormente mencionados, es decir, se pueden producir adicionalmente y paralelamente al desarrollo de una actividad determinada con las grúas torre.

Es así que a manera de muestra, se presenta uno de estos “problemas menores”, pero no por eso menos importantes que el resto de problemas anteriormente mencionados. 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, con la finalidad de concientizar a los obreros y de esta manera que se sientan identificados con el trabajo a realizarse.

Figura N° 5.40. Ejemplo de flujo para recomendación en la colocación de prelosa.



Fuente: Elaboración propia.

## 5.5 CONSOLIDACIÓN

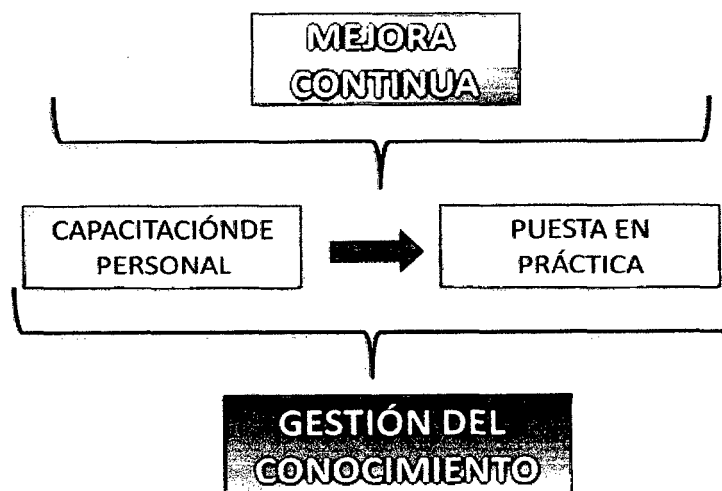
Esta última etapa en el desarrollo del estudio fue considerada por la importancia que conlleva señalar los beneficios que se obtiene al desarrollar una investigación, la que a la larga nos permite obtener ciertos beneficios como se mencionará a continuación.

Una investigación no solo es una fuente de conocimiento que será almacenado en alguna biblioteca, sino que además dicha investigación permite realizar una “mejora continua” en el personal que logra ser capacitado con el tópic que posee la investigación.

Como al inicio se mencionó, uno de los objetivos específicos de esta tesis es servir como una guía a todos aquellos que deseen poner en marcha un planeamiento similar al desarrollado en el proyecto en el que se hizo el estudio, con lo cual se estaría poniendo en práctica lo investigado.

Es así que toda esta investigación pasó a ser parte del banco de “Gestión de conocimientos” de las instituciones que apoyaron el desarrollo de esta tesis. Estas instituciones son la Empresa Graña y Montero S.A. (GyM S.A.) y el Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (IIFIC-UNI) en el marco del convenio firmado por ambas instituciones.

Figura N° 5.41. Flujo de la gestión de conocimiento.



Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO VI: CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se ha considerado conveniente recopilar en este último capítulo todos los cálculos y resultados que se gestaron en el capítulo anterior (Análisis de la Productividad de Dos Grúas Torre), además se realizó una estimación de la productividad de algunas actividades en particular desarrolladas por las grúas torre.

### 6.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN LA ETAPA DE IDENTIFICACIÓN

En el análisis realizado en la fase de Identificación del capítulo anterior se encontraron varios problemas, los cuales fueron analizados mediante el Diagrama de Ishikawa. En esta parte se muestran los resultados del cálculo de la frecuencia de cada actividad identificada, de manera que sean procesados en el acápite siguiente de este capítulo (acápite 6.2).

Dado que se realizó el análisis con dos grúas torre, las actividades más incidentes resultan diferentes para cada una de ellas. Asimismo, el porcentaje de incidencia de las actividades varía para cada una de las Grúas Torre tal como se observa en la Tabla N° 6.1 y Tabla N° 6.2.

Tabla N° 6.1. Tabla de resultados de incidencia de trabajos – Grúa Torre 1.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	fr	%	% ACUMUL.
D	Enganche y desenganche (Riggers)	185	14.11	14.11
T	Tiempos de espera	160	12.20	26.32
O	Otros traslados	147	11.21	37.53
SC	Viaje sin carga	138	10.53	48.05
E	Traslado de encofrado	119	9.08	57.13
PR	Traslado de prelosa	105	8.01	65.14
CE	Colocación de encofrado	81	6.18	63.31
CP	Colocación de prelosas	65	4.96	76.28
W	Carga suspendida	49	3.74	80.02
A	Traslado de varillas de acero	38	2.90	82.91
FV	Traslado fondo viga	32	2.44	85.35
I	Interferencia de gruas	30	2.29	87.64
F	Colocación de fondo de vigas	28	2.14	89.78
N	Traslado de puntales	26	1.98	91.76

S	Traslado de soportes para puntales	24	1.83	93.59
EP	Traslado de encofrado de placas	22	1.68	95.27
TV	Traslado de viga pre-armada	20	1.53	96.80
C	Colocación de columna pre-armada	17	1.30	98.09
TP	Traslado de placa pre-armada	15	1.14	99.24
TC	Traslado de columna pre-armada	10	0.76	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6.2. Tabla de resultados de incidencia de trabajos – Grúa Torre 2.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	fr	%	% ACUMULADO
D	Enganche y desenganche (Riggers)	177	13.00	13.00
T	Tiempos de espera	158	11.60	24.60
SC	Viaje sin carga	134	9.84	34.43
A	Traslado de varillas de acero	111	8.15	42.58
O	Otros traslados	96	7.05	49.63
TV	Traslado de viga pre-armada	90	6.61	56.24
E	Traslado de encofrado	85	6.24	62.48
C	Colocación de columna pre-armada	78	5.73	68.21
V	Colocación de viga pre-armada	64	4.70	72.91
W	Carga suspendida	49	3.60	76.51
PR	Traslado de prelosa	47	3.45	79.96
EP	Traslado de encofrado de placas	47	3.45	83.41
FV	Traslado fondo viga	40	2.94	86.34
N	Traslado de puntales	35	2.57	88.91
CP	Colocación de placa pre-armada	32	2.35	91.26
F	Colocación de fondo de vigas	30	2.20	93.47
CE	Colocacion de encofrado	25	1.84	95.30
TC	Traslado de columna prearmada	20	1.47	96.77
TP	Traslado de placa pre-armada	18	1.32	98.09
I	Interferencia de gruas	15	1.10	99.19
P	Colocación de prelosas	11	0.81	100.00

Fuente: Elaboración propia.

De las tablas anteriores se puede apreciar que la actividad con más incidencia en los trabajos en los que forman parte las grúas torre es el enganche y desenganche (D); con un 14.11 % en el caso de la Grúa Torre MC 115 y en el caso de la Grúa Torre MC 85 se tiene un 13.0 %; de manera que esta actividad se toma de suma importancia para el avance de cada una



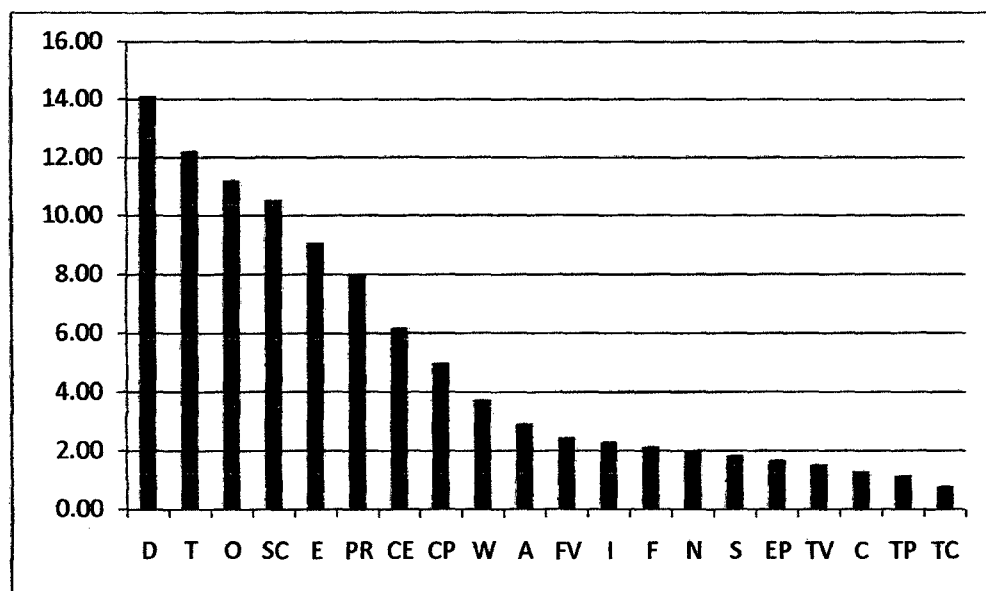
de las otras. A una actividad como esta se le denomina “cuello de botella”, puesto que si este trabajo no se desarrolla de manera correcta puede generar estancamiento y evitar que el flujo de procesos continúe normalmente.

## 6.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN LA ETAPA DE MEDICIÓN

En esta parte calcularemos mediante el uso del Diagrama de Pareto el porcentaje de labores que serían necesarios desarrollar para que se pueda terminar la mayoría de labores por ejecutar, a estas labores también se les denomina “pocos vitales” por la importancia que genera en el desarrollo de los procesos. Estas labores obviamente son las que se producen con mayor frecuencia, razón por la que dichas labores representan un mayor porcentaje.

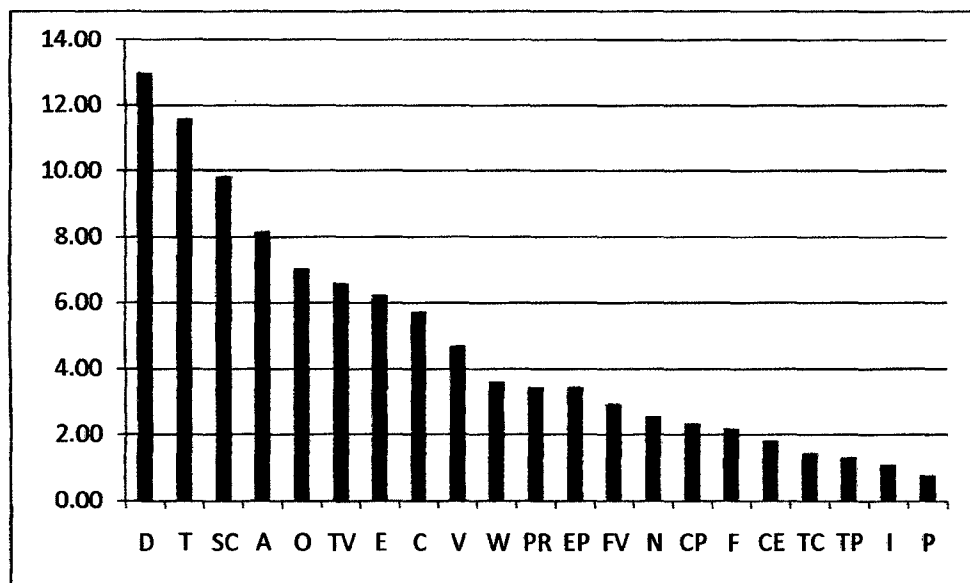
El resto de actividades son denominados “muchos triviales” por la poca incidencia que tienen, ya que su porcentaje de frecuencia es muy bajo, de manera que por practicidad se debe tener un énfasis principal en desarrollar los “pocos vitales”, ya que ejecutando ellos se tendrá el mayor porcentaje de actividades desarrolladas.

Figura N° 6.1. Diagrama de Pareto – Grúa Torre 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6.2. Diagrama de Pareto – Grúa Torre 2.

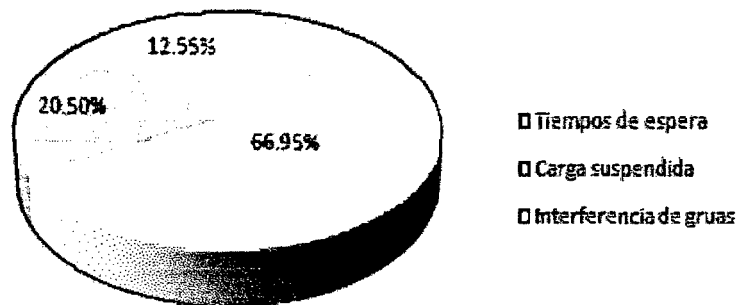


Fuente: Elaboración propia.

De la figura N° 6.1, se observa que las actividades denominadas “pocos vitales” para la Grúa Torre 1 son los primeros nueve de la tabla N° 6.1, ya que todos ellos en conjunto representan aproximadamente el 80% de todos los problemas, esos pocos vitales son: enganche y desenganche (D), tiempos de espera (T), otros traslados (O), viaje sin carga (SC), traslado de encofrado (E), Traslado de prelosa (PR), colocación de encofrado (CE), colocación de prelosas (CP) y carga suspendida (W); con el 14.11%, 12.20%, 11.21%, 10.53%, 9.08%, 8.01%, 6.18%, 4.96% y 3.74% de incidencia respectivamente. Los otros problemas son los denominados “muchos triviales”, los cuales tienen un porcentaje de incidencia demasiado bajo, en conjunto sumando todos ellos un 20% aproximadamente.

Con criterios similares a la descripción anterior, de la figura N° 6.2 se aprecia que los “pocos vitales” para la Grúa Torre 2 son, a diferencia de la grúa torre 1, los primeros once de la Tabla N° 6.2; es decir, enganche y desenganche (D), tiempos de espera (T), viaje sin carga (SC), traslado de varillas de acero (A), otros traslados (O), traslado de viga pre-armada (TV), traslado de encofrado (E), colocación de columna pre-armada (C),

Figura N° 6.6. División porcentual del trabajo no contributorio en el que toma parte la Grúa Torre 1.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 6.4, se puede observar la división porcentual del tipo de trabajo productivo, con todos los tipos de actividades que lo conforman, para los trabajos desarrollados por la mano de obra, en los cuales forma parte la Grúa Torre 1 la división del trabajo productivo se encuentra encabezada por la colocación de encofrado, con un 21.66%; seguidamente se tiene a la colocación de prelosas, con un 17.38%, la colocación de fondo de vigas, con un 7.49%; finalmente se tiene a la colocación de columna prearmada, con un 4.55%.

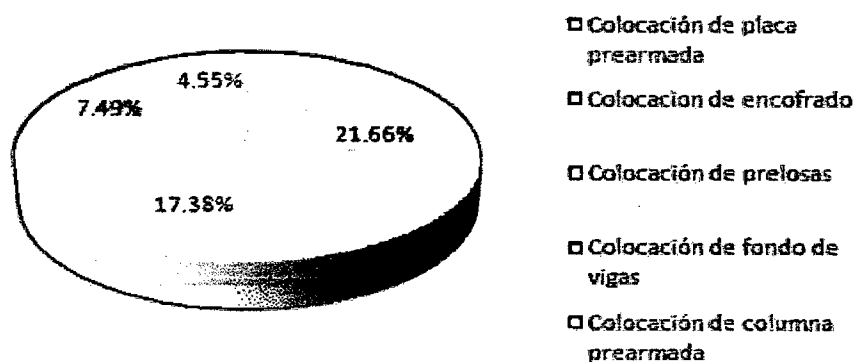
En la figura N° 6.5, se tienen todas las actividades conformantes del tipo de trabajo contributorio, entre estas actividades tenemos al enganche y desenganche de elementos, con un 25.31%; traslado de encofrado, con un 16.28%; traslado de prelosa, con un 14.36%; traslado de varillas de acero, con un 5.20%; traslado de fondo de viga, con un 4.38%; traslado de puntales, con un 3.56%; traslado de viga pre-armada, con un 2.74% y el traslado de placa pre-armada, con un 2.05%.

En la figura N° 6.6, se tiene las actividades que conforman el trabajo no contributorio, estas actividades son los tiempos de espera, con un 66.95%; las cargas suspendidas, con un 20.50% y la interferencia de grúas, con un 12.55%. Estas actividades son las que se deben contrarrestar, dado que estas actividades corresponden a los denominados "tiempos muertos".

Otro factor importante para el alto porcentaje de este tipo de trabajo se debió al alto porcentaje obtenido de la principal actividad identificada de este tipo de trabajo, el enganche y desenganche de elementos (D).

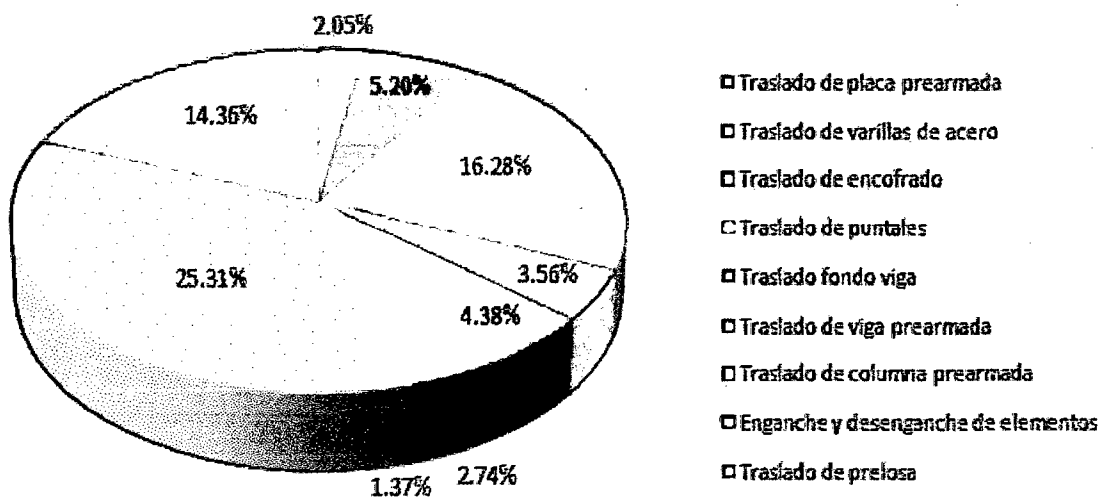
Como se había mencionado en el primer capítulo, uno de los objetivos de este trabajo es el cálculo de los trabajos no contributivos, a los que también se les denomina “tiempos muertos”. Con la obtención del valor porcentual de este tipo de trabajo se constató que efectivamente existían tiempos muertos, los cuales tenían que ser contrarrestados.

Figura N° 6.4. División porcentual del trabajo productivo en el que toma parte la Grúa Torre 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6.5. División porcentual del trabajo contributivo en el que toma parte la Grúa Torre 1.



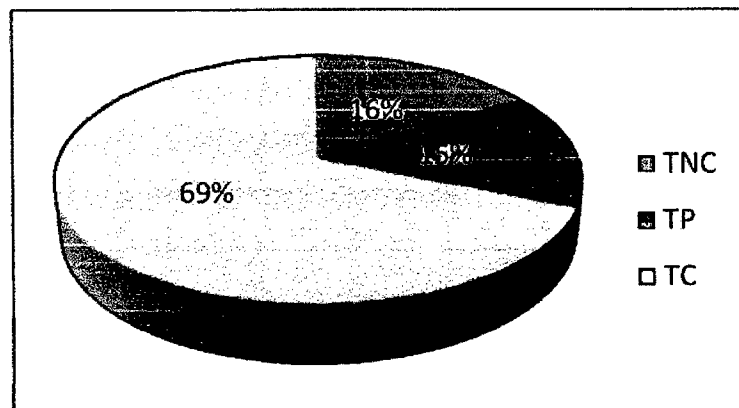
Fuente: Elaboración propia.

colocación de viga pre-armada (V), carga suspendida (W) y traslado de prelosa (PR); con el 13.0%, 11.60%, 9.84%, 8.15%, 7.05%, 6.61%, 6.24%, 5.73%, 4.70%, 3.60% y 3.45% respectivamente. Los demás problemas corresponden a los “muchos triviales”, como ya se mencionó anteriormente.

### 6.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN LA ETAPA DE EVALUACIÓN

Del análisis realizado en la fase de Evaluación del capítulo anterior se procedió al cálculo de todas las muestras de tiempos de las actividades desarrolladas por la mano de obra, en las cuales toman parte las grúas torre, además se ha visto que cada uno de estos trabajos fueron diferenciados por un color característico de acuerdo al tipo de actividad ejecutada. De manera que calcularemos el porcentaje de trabajos desarrollados por la mano de obra, en los cuales forman parte las grúas torre, diferenciados ya sea en Trabajos Productivos (TP), Trabajos Contributorios (TC) y Trabajos No Contributorios (TNC).

Figura N° 6.3. División porcentual de trabajos en los que forma parte la Grúa Torre 1.

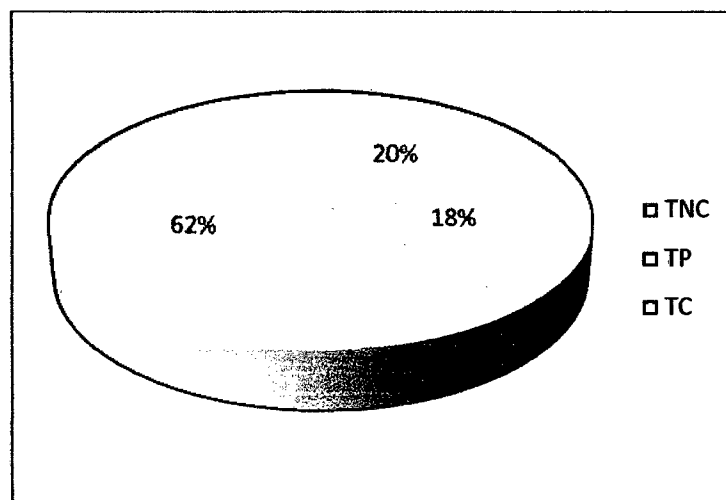


Fuente: Elaboración propia.

De la figura N° 6.3, se observa que el tipo de trabajo desarrollado por la mano de obra en la que forma parte la Grúa Torre 1 con mayor porcentaje obtenido es el trabajo contributorio (69 %); debido principalmente al mayor número de minutos invertidos en este tipo de actividad, las cuales deben ser necesariamente llevadas a cabo para que se puedan desarrollar los trabajos productivos.

En el caso de la Grúa Torre 2, la figura no cambia, tal como se puede apreciar en la figura N° 6.7, el trabajo contributorio tiene la mayor cantidad de porcentaje (62%), con lo cual se confirma que las actividades más recurrentes en las que se requiere el uso de las grúas torre son los trabajos contributorios, ya que son estos los que generan el desarrollo de los trabajos productivos.

Figura N° 6.7. División porcentual de trabajos en los que forma parte la Grúa Torre 2.



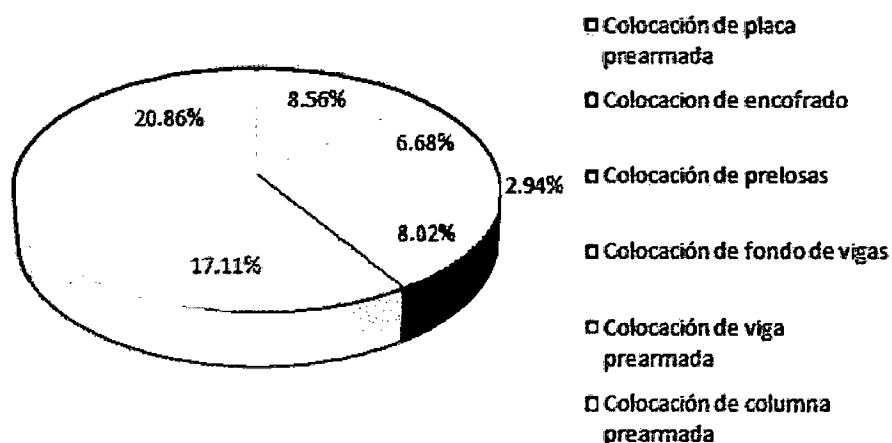
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el valor del trabajo no contributorio producido en las actividades en las cuales forma parte la Grúa Torre 2 es obtenido con la finalidad de mitigar ese problema, como se mostró en el capítulo V (acápite 5.4: Intervención).

De los resultados obtenidos, tanto para procesos constructivos en los que toma parte la Grúa Torre 1 con valores para el trabajo contributorio (TC) de 69%, trabajo productivo (TP) de 15% y trabajo no contributorio (TNC) de 16%; como para procesos constructivos en los que toma parte la Grúa Torre 2 con valores para el trabajo contributorio (TC) de 62%, trabajo productivo (TP) de 18 % y trabajo no contributorio (TNC) de 20%; se puede confirmar que la labor principal de una grúa torre es el trabajo de apoyo para que se

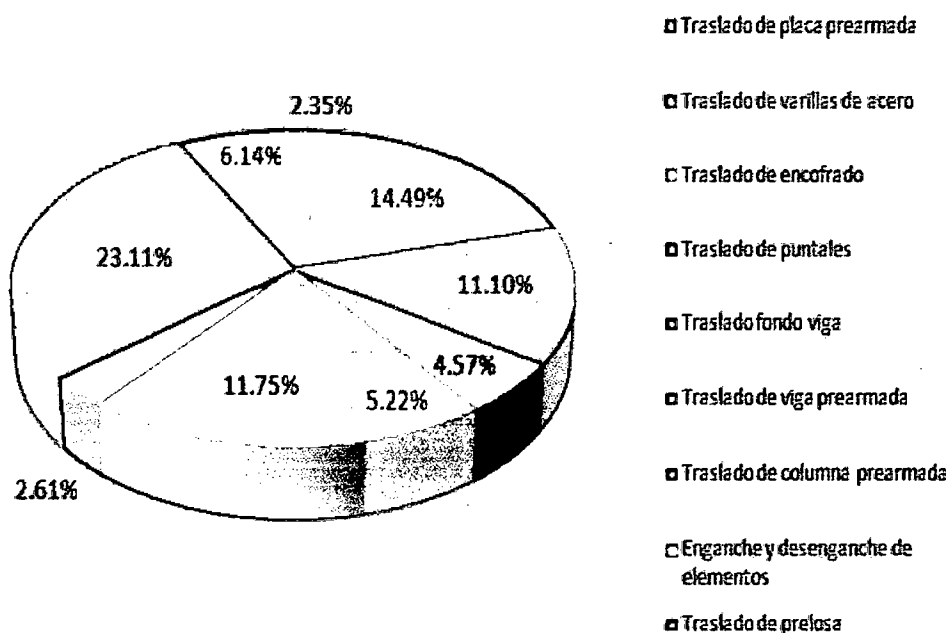
lleven a cabo los trabajos productivos, es la razón por la cual los valores para el trabajo contributorio de ambos equipos es el mayor.

Figura N° 6.8. División porcentual del trabajo productivo en el que toma parte la Grúa Torre 2.



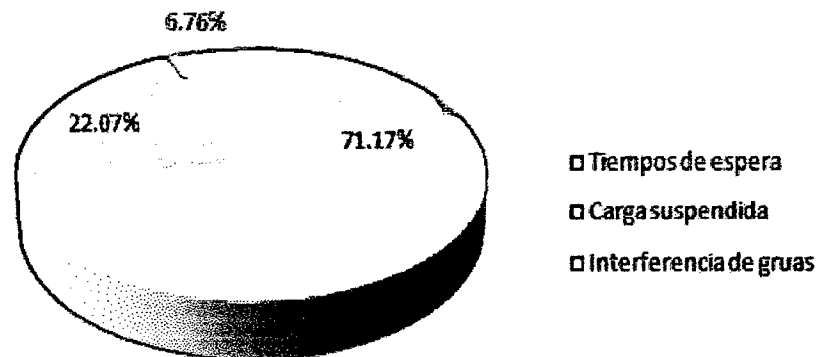
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6.9. División porcentual del trabajo contributorio en el que toma parte la Grúa Torre 2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6.10. División porcentual del trabajo no contributorio en el que toma parte la Grúa Torre 2.



Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 6.8 se aprecia la división de los trabajos productivos realizados por la mano de obra en los que toma parte la Grúa Torre 2, los cuales se dividen en cinco actividades principales, resultando la colocación de columna pre-armada una de las actividades más recurrentes con un 20.86 %, con un margen cercano se encuentra la colocación de viga pre-armada con 17.11 %, además se tiene otras actividades en menor medida, tales como la colocación de placa pre-armada con un 8.56 %, la colocación de encofrado con un 6.68 %, la colocación de fondo de vigas con un 8.02%, y finalmente la colocación de prelosas con un 2.94 %.

El trabajo contributorio realizado por la mano de obra en la que toma parte la Grúa Torre 2 se divide en igual número de actividades, tal como se aprecia en la figura N° 6.9, pero la que se observa con mayor recurrencia es la actividad del enganche y desenganche de elementos, con un 23.11 %; el traslado de varillas de acero, con un 14.49%, el traslado de viga pre-armada, con un 11.75 %; el traslado de encofrado, con un 11.10%; el traslado de prelosa, con un 6.14 %; el traslado de fondo de vigas, con un 5.22 %; el traslado de puntales, con un 4.57%, el traslado de columna pre-armada, con un 2.61%; y finalmente el traslado de placa pre-armada, con un 2.35%; como se aprecia el resto de actividades después de la principal actividad señalada (enganche y desenganche de elementos), son en menor medida



recurrentes en cuánto al tiempo de aplicación del uso de la Grúa Torre 2 sobre cada una de ellas.

Para el trabajo no contributivo realizado por la mano de obra en la que toma parte la Grúa Torre 2 solamente se cuenta con tres actividades principales, las cuales se muestran en la figura N° 6.10; donde se puede apreciar que la actividad más recurrente es la correspondiente a los tiempos de espera, con un 71.17 %; en menor medida se tiene a la actividad con carga suspendida, con un 22.07 %; y finalmente a la interferencia de grúas, con un 6.76 %.

Los resultados obtenidos se justifican porque las grúas torre se emplean principalmente para el traslado de materiales, por lo que la mayor demanda de trabajo de una grúa torre recae en un tipo de trabajo contributivo desarrollado por el personal obrero.

#### **6.4 CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LAS DOS GRÚAS TORRE**

Para realizar una estimación de la productividad que entrega cada una de las grúas torre, se consideran los valores promedios tomados en campo con algunas consideraciones adicionales.

Obviamente que los tiempos de ciclo que se presentan solamente tienen valor para la construcción presentada, puesto que cada obra presentará diferentes particularidades de sus grúas torre, tales como distancia vertical, horizontal, radio de giro, habilidad y experiencia de los operadores de grúa torre y de los riggers.

Lo razonable debería ser que se estandaricen estos tiempos de manera que se pueda adaptar a cada escenario, con una base de datos de tal manera que se pueda permitir el ingreso de datos, tales como alturas, grados de giro, etcétera; para cada modelo de grúa y diferentes operadores.

El escenario bajo el cual se calculó la productividad de la grúa torre MC 115 fue de 17 metros de altura, 270° de giro, 55 metros de radio de giro,

empotrada en base. Para la grúa torre MC 85 se tiene 36 metros de altura, 360° de giro, 50 metros de radio de giro, apoyada en la base.

Estos cálculos corresponden solamente al de un ciclo de actividad de cada proceso, es decir se tomó estos tiempos desde el inicio del enganche hasta el fin del desenganche; para cada una de las actividades analizadas, 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.

Cada una de las grúas torre realizaban actividades independientemente, de manera que se realizarán cálculos de las productividades para cada una de las grúas torre. 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 N° 6.3. Tabla tiempo de ciclo y productividad, prelosa – Grúa Torre 1.

Prelosa	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	300
Elevación	15
Movimiento de carro	120
Giro de la pluma	30
Descenso	15
Colocación	420
Desenganche	120
Total	1020
Tiempo ciclo (min.)	17
Tiempo ciclo (hrs.)	0.28
Vol. 1 prelosa (m <sup>3</sup> )	0.975
Productividad	3.48 m <sup>3</sup> /hm

Fuente: Elaboración propia.

En el capítulo V, exactamente en la etapa de identificación se mostró el problema existente acerca de la demora en la colocación del acero pre-armado para columna, debido a la dificultad del calzado de varillas verticales existentes (ya anteriormente colocadas), con las nuevas varillas por colocar; en la tabla N° 6.6 se aprecia el valor de la productividad obtenida.

Tabla N° 6.4. Tabla tiempo de ciclo y productividad, encofrado columna (2.6 m x 1 m) – Grúa Torre 1.

Encofrado columna	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	180
Elevación	15
Movimiento de carro	120
Giro de la pluma	30
Descenso	15
Colocación	180
Desenganche	120
<b>Total</b>	<b>660</b>
Tiempo ciclo (min.)	11
Tiempo ciclo (hrs.)	0.183
Área encofrado (m <sup>2</sup> )	2.6
Productividad	14.2 m <sup>2</sup> /hm

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia en el resultado de la productividad de la tabla N° 6.4, que el valor obtenido es prácticamente como si se colocaran 6 encofrados de las características mencionadas (2.6 m x 1m) por hora máquina. La actividad referente al encofrado de columna se desarrolla en forma permanente a lo largo de la construcción de toda la estructura, de manera que se podría tener este valor como referencial para la comparación con posteriores procedimientos iguales a este.

Tabla N° 6.5. Tabla tiempo de ciclo y productividad, acero viga– Grúa Torre 2.

Acero viga pre - armada	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	150
Elevación	15
Movimiento de carro	90
Giro de la pluma	30
Descenso	15
Colocación	210
Desenganche	120
Total	630
Tiempo ciclo (min.)	10.5
Tiempo ciclo (hrs.)	0.18
Peso acero (kg.)	650
Productividad	3714.29 kg/hm

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6.6. Tabla tiempo de ciclo y productividad, acero columna– Grúa Torre 2.

Acero columna pre - armada	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	180
Elevación	20
Movimiento de carro	110
Giro de la pluma	30
Descenso	20
Colocación	900
Desenganche	120
Total	1380
Tiempo ciclo (min.)	23
Tiempo ciclo (hrs.)	0.38
Peso acero (kg.)	1000
Productividad	2631.58 kg/hm

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6.7. Tabla tiempo de ciclo y productividad, encofrado fondo de viga  
(3.2mx0.5m) – Grúa Torre 2.

Encofrado fondo de viga	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	120
Elevación	15
Movimiento de carro	60
Giro de la pluma	30
Descenso	15
Colocación	180
Desenganche	60
Total	480
Tiempo ciclo (min.)	8
Tiempo ciclo (hrs.)	0.13
Área encofrado (m <sup>2</sup> )	1.6
Productividad	12.31 m <sup>2</sup> /hm

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6.8. Tabla tiempo de ciclo y productividad, encofrado placa  
(3.2mx3.2m) – Grúa Torre 2.

Encofrado columna	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	240
Elevación	20
Movimiento de carro	150
Giro de la pluma	50
Descenso	20
Colocación	420
Desenganche	120
Total	1020
Tiempo ciclo (min.)	17

Tiempo ciclo (hrs.)	0.283
Área encofrado (m <sup>2</sup> .)	10.24
Productividad	36.18 m <sup>2</sup> /hm

Fuente: Elaboración propia

Dentro de cada tipo de proyecto se tendrán diferentes condiciones que variarán los valores de la productividad. Por esta razón se muestran algunos problemas que disminuye la productividad de las grúas torre.

#### 6.4.1 Productividad con problemas de visibilidad o maniobra

En este tipo de condiciones se tienen la existencia de construcciones colindantes, los trabajos nocturnos, problemas de cableado eléctrico, etc.

Por ejemplo se muestra el proceso de colocación de pre-losas, para una zona contigua a una propiedad privada aledaña, se obtuvo tiempos mayores para cada acción; lo cual a su vez generó la disminución de la productividad para esta actividad, tal como se observa en la tabla N° 6.9.

Tabla N° 6.9. Tabla productividad de prelosa en zona difícil – Grúa Torre 1.

Prelosa	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	300
Elevación	15
Movimiento de carro	130
Giro de la pluma	30
Descenso	20
Colocación	480
Desenganche	120
Total	1095
Tiempo ciclo (min.)	18.25
Tiempo ciclo (hrs.)	0.304

Vol. 1 prelosa (m <sup>3</sup> )	0.975
Productividad	3.21 m <sup>3</sup> / hm

Fuente: Elaboración propia

Con el cálculo de esta productividad, obtenida con diferentes características, se puede calcular el porcentaje de variación que se genera, respecto a la productividad obtenida en condiciones normales (tabla N° 6.3).

$$\Delta \text{Productividad} = \frac{3.48 - 3.21}{3.48}$$

$$\Delta \text{Productividad} = 7.76\%$$

Se puede apreciar que debido al problema de colocación de pre-losas en una zona contigua a una propiedad privada, la productividad disminuye en un 7.76 %.

#### 6.4.2 Productividad con problemas de interferencia de grúas

El problema de interferencia de grúas torre se origina cuando se cuenta con un proyecto con al menos dos grúas torre trabajando simultáneamente. Este problema se menciona en el capítulo anterior y se procede al análisis respectivo, con la finalidad de darle recomendaciones. Además de este problema se tienen otros problemas que serán vistos en el acápite siguiente de este capítulo (acápites 6.5).

En el caso del proyecto se cuenta con dos grúas torre, equipos a los cuales, como se sabe, se les realizó un seguimiento. Dentro del trabajo en campo se identificó que en determinados momentos se originaban interferencias entre ambas grúas torre.

A la vez se recolectó información acerca de este tiempo muerto, con lo cual se procede al cálculo de la productividad para una actividad que

contenga un trabajo no contributorio (TNC) del tipo interferencia de grúas.

Tabla N° 6.10. Tabla productividad de acero de viga al producirse interferencia de grúas torre – Grúa Torre 2.

Acero viga pre - armada	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	150
Elevación	15
Movimiento de carro	140
Giro de la pluma	40
Descenso	15
Colocación	210
Desenganche	120
Total	630
Tiempo ciclo (min.)	11.5
Tiempo ciclo (hrs.)	0.192
Peso acero (kg.)	650
Productividad	3391.30 kg/hm

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el problema de la intersección de grúas torre, genera una disminución en la productividad de esta actividad, con referencia a la productividad determinada en actividades sin este contratiempo, mostrada en la tabla N° 6.5.

A continuación se calcula el valor de la variación en la productividad de la grúa torre, debido al problema mencionado.

$$\Delta \text{Productividad} = \frac{3714.29 - 3391.30}{3714.29}$$

$$\Delta \text{Productividad} = 8.69\%$$

Se puede apreciar que el valor de la productividad como consecuencia de la interferencia de las grúas torre disminuye en un 8.69 %.



## 6.5 OTROS RESULTADOS DEBIDO A LA ETAPA DE INTERVENCIÓN

Como se mencionó en el capítulo V, acápite 5.4 (“Intervención”), con los trabajos en campo que se realizaba, tales como las observaciones, los registros de tiempo, etcétera; se lograban identificar problemas que disminuían la productividad. Razón por la cual se planteó recomendaciones, en las reuniones llevadas a cabo cada semana, con la finalidad de mejorar la productividad.

Es así que al considerarse las recomendaciones y llevarse a cabo en campo, se procedió a la toma de datos de un nuevo ciclo, con la finalidad de calcular la nueva productividad obtenida.

Tabla N° 6.11. Tabla de productividad de colocación de prelosa con recomendaciones – Grúa Torre 1.

Prelosa	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	180
Elevación	15
Movimiento de carro	120
Giro de la pluma	30
Descenso	15
Colocación	360
Desenganche	90
Total	810
Tiempo ciclo (min.)	13.5
Tiempo ciclo (hrs.)	0.225
Vol. 1 prelosa (m <sup>3</sup> )	0.975
Productividad	4.33 m <sup>3</sup> / hm

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 6.11 se observa la mejora en la productividad de la colocación de prelosa, gracias a la recomendación que se entregó para su respectiva consideración.

Al realizarse la comparación con un valor de productividad en condiciones normales, mostrada en la tabla N° 6.3, se estima que porcentaje fue la mejora, tal como se muestra a continuación.

$$\Delta \text{Productividad} = \frac{4.33 - 3.48}{4.33}$$

$$\Delta \text{Productividad} = 19.63\%$$

De los resultados se observa que el valor de la productividad debido a la aplicación de las recomendaciones aumenta en un valor del 19.63 %, con lo cual se puede afirmar que el procedimiento realizado fue un éxito.

Tabla N° 6.12. Tabla de productividad de colocación de encofrado para fondo de viga (3.2mx0.5m) con recomendaciones – Grúa Torre 2.

Encofrado fondo de viga	
Acción	Tiempo (seg.)
Enganche	90
Elevación	15
Movimiento de carro	60
Giro de la pluma	30
Descenso	15
Colocación	120
Desenganche	60
<b>Total</b>	<b>390</b>
Tiempo ciclo (min.)	6.5
Tiempo ciclo (hrs.)	0.108
Área encofrado (m <sup>2</sup> )	1.6
Productividad	14.81 m <sup>2</sup> /hm

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 6.12 se observa que la productividad para la actividad de encofrado de fondo de viga mejora, con lo cual se puede comprobar que las recomendaciones impartidas para ese tipo de procedimiento fueron efectivas.

Se realiza el cálculo de la variación de los valores determinados para el caso del desarrollo de la actividad en condiciones normales, mostrado en la tabla N° 6.7, y compararlo con el valor obtenido luego de poner en práctica las recomendaciones respectivas.

$$\Delta \text{Productividad} = \frac{14.81 - 12.31}{14.81}$$

$$\Delta \text{Productividad} = 16.88\%$$

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 16.88 %.

## 6.6 ESTIMADO DEL COSTO POR HORA DE ESTE TIPO DE GRÚAS TORRE PARA EL TRASLADO DE ACERO Y ENCOFRADO

A continuación se realiza un estimado del costo por hora de grúa torre para el traslado de acero y encofrado, para lo cual se considera valores vigentes a la fecha de investigación y al tipo de proyecto constructivo estudiado.

En el proyecto particularmente se usó acero dimensionado, de manera que el precio de cada kilogramo de acero se considera a un valor de S/. 2.32. Así que de acuerdo a los cálculos de productividad obtenidos se pueden calcular los estimados del costo por hora de grúa torre para cada actividad relacionada con el acero, los cuales se tienen en la tabla N° 6.13.

Tabla N° 6.13. Tabla del costo por hora de grúa torre para el acero.

Actividades	Productividad (kg/hm)	(S/./hm)
Colocación de acero viga pre-armada	3714.29	8617.15
Colocación de acero columna pre-armada	2631.58	6105.27

Fuente: Elaboración propia

Asimismo para el proyecto en particular se usó encofrado metálico, de manera que el precio de cada metro cuadrado en encofrado se considera a un valor de S/. 13.50. Así que de acuerdo a los cálculos de productividad obtenidos se pueden calcular los estimados del costo por hora de grúa torre para cada tipo de actividad investigada, los cuales se presentan en la tabla N° 6.14.

Tabla N° 6.14. Tabla del costo por hora de grúa torre para el encofrado.

Actividades	Productividad (m <sup>2</sup> /hm)	(S/./hm)
Encofrado columna (2.6 m x 1 m)	14.20	191.70
Encofrado fondo de viga (3.2mx0.5m)	14.81	199.94
Encofrado placa (3.2mx3.2m)	36.18	488.43

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- Los periodos de inactividad identificados representan un porcentaje importante en la totalidad de actividades desarrolladas; con un 16% para la grúa torre MC 115 y 20% para la grúa torre MC 85. Con lo cual se puede concluir que resulta necesario optimizar el uso de estos equipos, utilizando diversas metodologías (diagramas de Ishikawa, diagramas de Pareto, estudios de tiempos), con el fin de aumentar la productividad. Se puede concluir que cada uno de los diagramas mencionados se complementan para el logro de los objetivos del estudio.
- Para disminuir en gran medida los periodos de inactividad que se producen, se debe disminuir uno de los tipos principales de tiempos muertos existentes, según los resultados obtenidos se tiene que los tiempos de espera son los tiempos muertos con más incidencia, ya que para la grúa MC 115 se obtuvo un 66.95% de incidencia en la causa de estos tiempos muertos, mientras que para la grúa MC 85 se obtuvo un 71.17%.
- La falta de experiencia en el trabajo con grúas torre del personal encargado del enganche y desenganche de elementos, influye de manera significativa en la asignación de trabajo para estos equipos. Esto se puede concluir de los resultados obtenidos en el capítulo VI, correspondiente a las actividades más incidentes realizadas por cada grúa torre, para las cuales se tiene que la grúa MC 115 tiene un 25.31% de incidencia para la actividad señalada, mientras que para la grúa MC 85 se tiene un 23.11%.
- La labor de traslado de materiales que desempeñan cada una de las Grúas Torre, es de vital importancia para la mejora de los trabajos constructivos desarrollados por la mano de obra, ya que se tiene para los trabajos concernientes a traslados de materiales pre-armados

valores importantes, por ejemplo para la grúa MC 115 en el traslado de material tipo prelosa se tiene un 14.36%; traslado de viga pre-armada (acero de refuerzo) un 2.74% y en el traslado de placa pre-armada (acero de refuerzo) un 2.05% y para la grúa MC 85 en el traslado de viga pre-armada (acero de refuerzo) se tiene un 11.75%, para el traslado de prelosa un 6.14 %, traslado de columna pre-armada (acero de refuerzo) un 2.61% y finalmente el traslado de placa pre-armada (acero de refuerzo) con un 2.35%.

- Al tenerse muy pocos estudios similares al presente, en el que el uso de las grúas torre se vuelve un factor importante para los procesos constructivos, se puede concluir que en el caso de la construcción nacional los valores deben encontrarse en porcentajes similares a la presente investigación, es decir, para un tipo de grúa torre de una capacidad similar al tipo MC 115 que forma parte de los trabajos que realiza la mano de obra, el trabajo productivo (TP) desarrollado por la mano de obra debe encontrarse en el orden de 15%, el trabajo contributorio (TC) en el orden de 69% y el trabajo no contributorio (TNC) en el orden de 16%. De la misma manera para un tipo de grúa torre con capacidad parecida a la MC 85, los valores deben ser para el trabajo productivo (TP) 18%, para el trabajo contributorio (TC) 62% y para el trabajo no contributorio (TNC) 20%.
- De acuerdo a los primeros resultados obtenidos, los cuales se señalaron en la conclusión anterior; se aprecia que las dos grúas torre inicialmente no se encontraban brindando una buena productividad, puesto que al comparar con datos obtenidos de otro proyecto en nuestro país se tiene un 25 % en el trabajo productivo (TP), y el 75 % restante en el trabajo contributorio (TC) y no contributorio (TNC); por lo que se tenía que intervenir con recomendaciones de acuerdo a las observaciones que se obtuvieron de campo y con ayuda de herramientas disponibles, con el fin de mejorar el uso de las grúas torre en los procesos constructivos que se lleven a cabo.

- Una influencia importante para la obtención de los resultados en las dos conclusiones anteriores son los años de fabricación de las grúas torre, en el proyecto en estudio se tienen equipos de fabricación del año 2003 lo que unido a la falta de preparación de los riggers nos resulta un trabajo productivo (TP) muy bajo para cada grúa torre, mientras que en el proyecto comparado se tuvieron equipos de fabricación del año 2006 y el personal se encontraba mejor preparado.
- La mejora de la productividad si se toman las medidas correspondientes es posible, tal como se logró en la presente tesis, por ejemplo se mejoró la productividad de la colocación del encofrado para fondo de viga en un 16.88%; y también se mejoró la productividad de la colocación de prelosa en un 19.63%.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Dado que el presente estudio se limita al uso de dos grúas torre y al tipo de proyecto en estudio, es necesario realizar más estudios respecto a este tema, con la finalidad de recabar más información que ayude a la mejora de la productividad del trabajo con estos equipos.
- 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.
- La recomendación para el caso de tiempos de espera en los trabajos de las grúas torre, consiste en 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.
- Para el caso de interferencia 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 realizarán cada una de las otras grúas, 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.
- Cuando se produce una demora en la colocación de acero de refuerzo para una columna pre-armada se recomienda 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.
- La recomendación para el caso de mal encaje de prelosa en el momento de colocación consiste en corroborar las medidas de las prelosas que se desea colocar en el correspondiente paño, antes del inicio del procedimiento, de manera que si se detecta una incompatibilidad de dimensiones se debe proceder con la adecuación de acuerdo a lo necesitado.
- Realizar cartas balance para detectar periodos de inactividad, de manera que se puede ir realizando un seguimiento adecuado a los trabajos desarrollados por cada una de las dos grúas torre.
- Se debería contar con operadores bien capacitados para los trabajos con las grúas torre, ya que las maniobras que se realizan en las actividades con dichos equipos necesita de un personal con buena experiencia. Es recomendable preparar a este tipo de personal antes del inicio de las actividades en una obra que así lo requiera.
- Dado que se cuenta con varias grúas torre, es recomendable contar con reemplazantes para los operadores, en caso falte uno de los operadores por algún motivo, esos reemplazantes deberían ser los riggers, de



manera que los riggers deberían ser personas multifuncionales con la finalidad de evitar esta variabilidad.

- De lo anterior, resulta indispensable contar con especialistas para la operación de las grúas torre, por lo tanto se necesita personal interesado en formar una línea de carrera para esta especialidad, los cuales inicien con la ocupación de rigger y aspiren a llegar al puesto de operadores de grúas torre.
- Se recomienda el uso de grúas torre de años de fabricación recientes, ya que la antigüedad de los equipos también influye en la obtención de buenos resultados en los trabajos en los cuales estos forman parte.

## BIBLIOGRAFÍA

ALFARO FÉLIX, OMAR; FÉLIX GUERRERO, MÓNICA; ALTAMIRANO VILLEGAS, VÍCTOR. "Uso de Grúas Torre en edificaciones", Proyecto de diplomado, Programa de especialización, Gerencia de la Construcción, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, 2009.

GARCES V. "La Grúa Torre y su productividad en la construcción en altura". Seminario II, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile, 1992.

CARTES COSSIO, MARIELA. "Grúas Torre", Tesis para optar el título de constructor civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Construcción Civil, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2004.

MALDONADO P, DANIELA. "Instalación de Grúas Torre – Suben las exigencias", Revista técnica de la construcción, BIT N° 52, Chile, 2007.

MALDONADO P, DANIELA. "Operación de Grúas Torre – Seguridad en las alturas", Revista técnica de la construcción, BIT N° 66, Chile, 2009.

MUÑOZ SANHUEZA, FELIPE EDUARDO. "Propuesta de un modelo de apoyo para la selección de grúas torre en la construcción habitacional en altura", Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile, 2006.

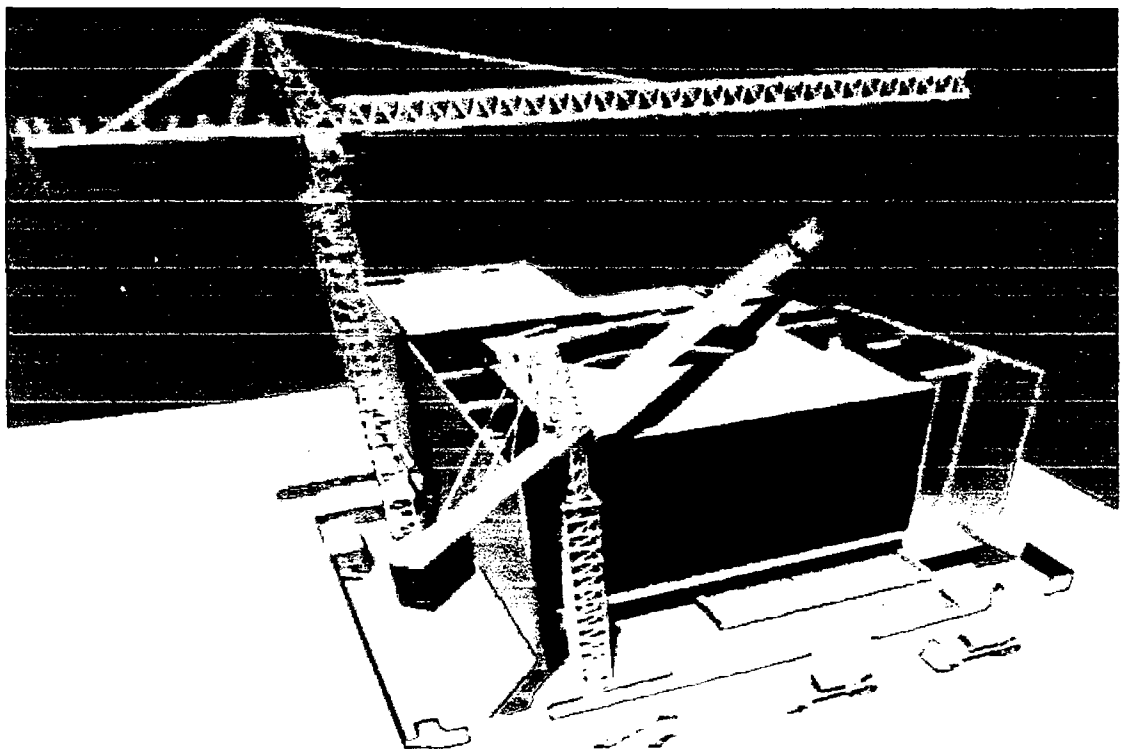
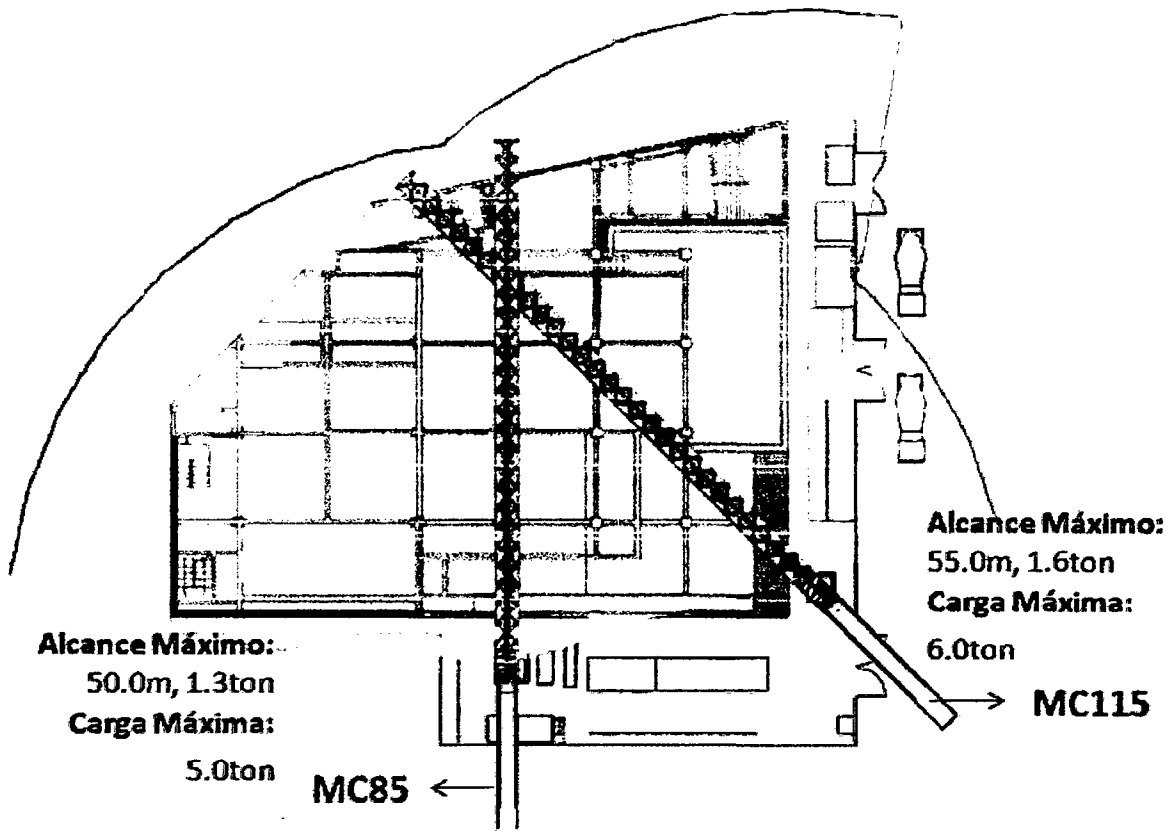
PROCTOR J. "Seleccionando Grúa Torre", Revista Técnica de la Construcción, BIT N° 5, Chile, 1996.

REFEINER F. "Construcción de edificios en altura". Blumi, Dusseldorf, Alemania, 1967.

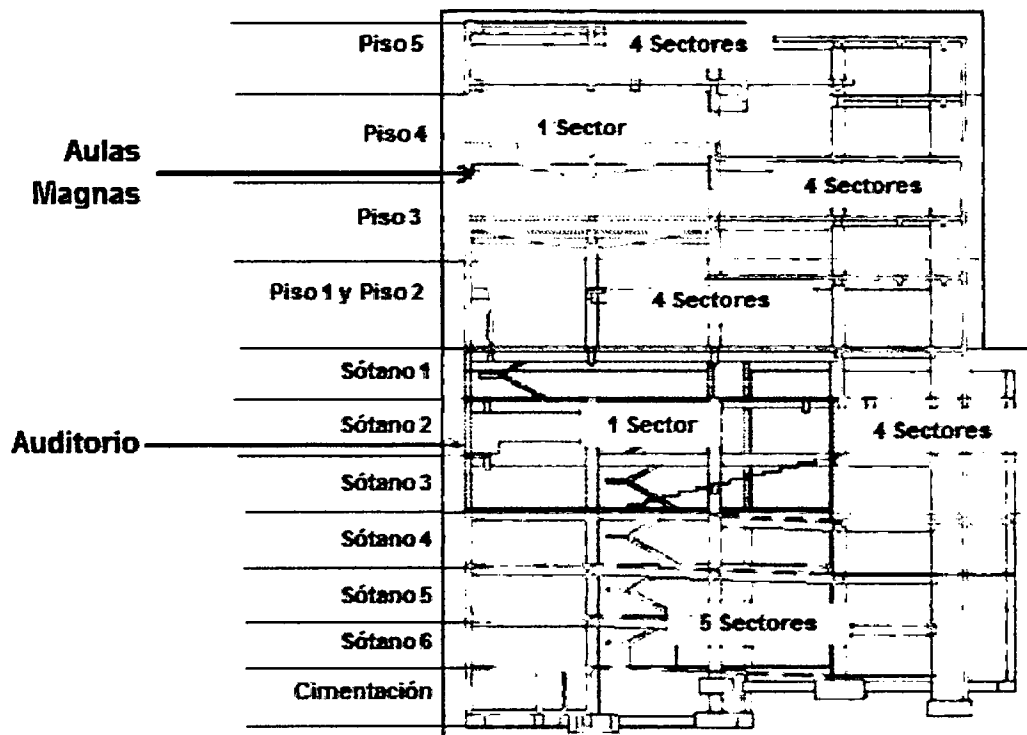
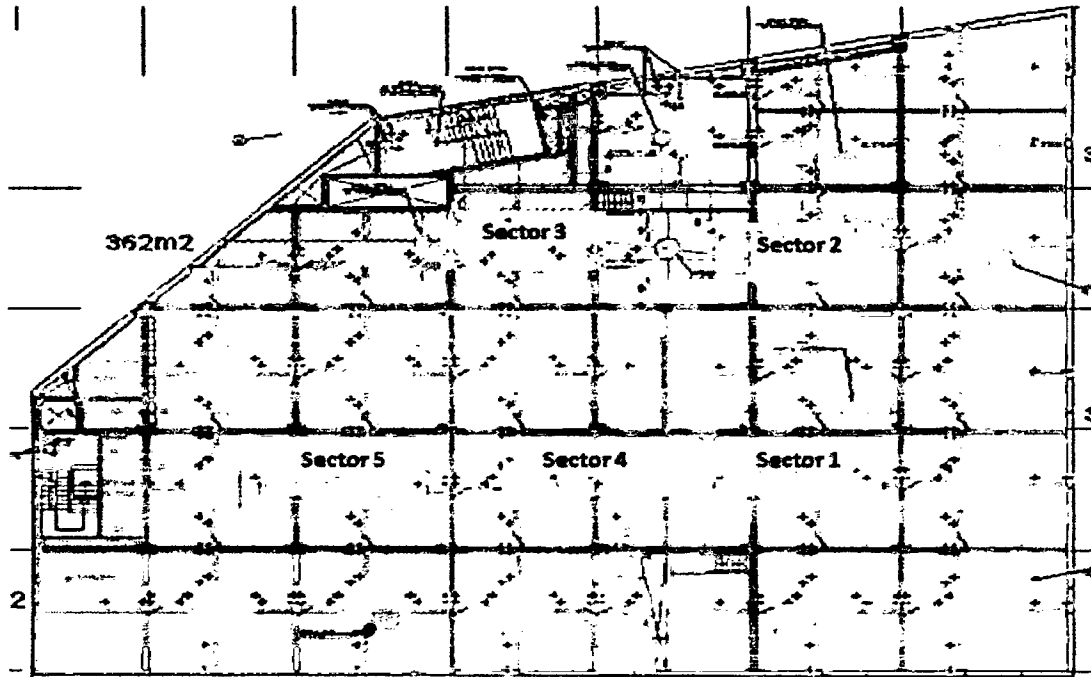
RETAMAL P, PEDRO. "Excavadoras y Grúas – A toda máquina", Revista técnica de la construcción, BIT N° 49, Chile, 2006.

ZURELA J. Diccionario Básico de la Construcción. Barcelona, España, 2000.

Anexo 1: Vista en planta y en 3D del proyecto de la U. del Pacífico.



Anexo 2: Sectorización planificada para el proyecto U. del Pacífico.



Anexo 3: Cartas Balance elaboradas en la investigación.

CARTA BALANCE 1 (13-05-11)

80	D	SC	80	D	O
79	E	O	79	P	D
78	E	O	78	P	SC
77	E	D	77	P	D
76	E	D	76	PR	A
75	D	SC	75	D	A
74	O	SC	74	D	A
73	O	SC	73	SC	A
72	O	SC	72	SC	A
71	D	D	71	D	D
70	D	D	70	P	D
69	O	A	69	P	T
68	O	A	68	P	T
67	O	A	67	PR	T
66	T	A	66	PR	T
65	T	D	65	D	T
64	T	O	64	D	T
63	O	O	63	SC	T
62	O	O	62	SC	T
61	SC	D	61	D	D
60	D	TV	60	P	V
59	N	TV	59	P	V
58	N	D	58	PR	TV
57	N	D	57	D	D
56	D	D	56	SC	SC
55	O	D	55	SC	D
54	O	D	54	SC	V
53	O	D	53	D	V
52	O	D	52	P	T
51	D	D	51	P	TV
50	O	D	50	P	TV
49	O	D	49	PR	TV
48	O	SC	48	PR	TV
47	D	D	47	PR	D
46	O	TV	46	PR	SC
45	D	TV	45	D	SC
44	SC	TV	44	D	SC
43	D	TV	43	D	D
42	S	TV	42	SC	C

t	GRÚA 1	GRÚA 2	t	GRÚA 1	GRÚA 2
41	D	TV	41	SC	C
40	O	TV	40	D	C
39	O	D	39	P	C
38	D	D	38	P	C
37	T	D	37	P	C
36	T	D	36	P	C
35	T	T	35	P	C
34	D	T	34	P	C
33	S	T	33	P	W
32	S	T	32	P	W
31	D	SC	31	PR	W
30	D	T	30	PR	W
29	D	T	29	D	W
28	D	T	28	SC	W
27	D	SC	27	D	W
26	SC	SC	26	P	W
25	T	SC	25	P	W
24	T	D	24	P	W
23	T	N	23	P	W
22	D	N	22	P	W
21	O	N	21	P	W
20	O	D	20	PR	C
19	O	SC	19	PR	C
18	O	D	18	D	C
17	O	D	17	D	C
16	O	F	16	SC	C
15	O	F	15	SC	TC
14	O	F	14	D	TC
13	O	FV	13	P	T
12	O	D	12	P	T
11	D	SC	11	P	T
10	O	D	10	P	T
9	O	TV	9	P	T
8	O	TV	8	PR	T
7	O	TV	7	PR	D
6	O	D	6	D	D
5	O	SC	5	P	D
4	O	D	4	P	SC
3	O	P	3	PR	D
2	O	P	2	PR	S
1	O	P	1	D	S

CARTA BALANCE 2 (02-06-11)

80	CE	SC	80	SC	T
79	CE	SC	79	D	T
78	CE	D	78	E	D
77	T	F	77	E	A
76	E	F	76	D	A
75	D	F	75	SC	D
74	SC	FV	74	D	T
73	D	FV	73	E	SC
72	D	D	72	E	SC
71	CE	D	71	D	D
70	CE	SC	70	SC	A
69	CE	SC	69	D	A
68	T	D	68	CE	D
67	E	N	67	CE	T
66	D	N	66	D	T
65	D	D	65	SC	D
64	SC	SC	64	D	A
63	T	D	63	E	A
62	D	O	62	E	D
61	T	O	61	D	T
60	T	D	60	SC	SC
59	D	T	59	T	D
58	CE	T	58	SC	A
57	CE	SC	57	D	A
56	E	SC	56	CE	D
55	E	D	55	CE	SC
54	D	D	54	D	D
53	D	A	53	SC	O
52	T	A	52	SC	O
51	T	A	51	D	D
50	T	D	50	O	SC
49	T	D	49	O	T
48	SC	SC	48	D	D
47	D	D	47	O	E
46	CE	V	46	O	E
45	CE	V	45	D	E
44	T	TV	44	SC	D
43	T	TV	43	D	SC
42	E	TV	42	E	SC
41	E	D	41	E	T
40	D	D	40	D	D
39	D	SC	39	SC	E

101	E	D	101	D	T
100	D	D	100	N	T
99	D	T	99	N	T
98	D	T	98	W	T
97	T	SC	97	W	T
96	D	D	96	I	T
95	D	D	95	N	T
94	D	D	94	N	T
93	SC	V	93	D	T
92	T	V	92	D	T
91	T	V	91	T	T
90	T	V	90	T	T
89	T	TV	89	T	T
88	T	TV	88	SC	T
87	T	TV	87	T	T
86	T	D	86	D	T
85	T	D	85	D	T
84	T	D	84	O	T
83	T	SC	83	O	T
82	SC	D	82	O	T
81	D	CP	81	D	D
80	D	CP	80	D	D
79	S	CP	79	T	D
78	D	TP	78	T	PR
77	D	TP	77	D	PR
76	D	D	76	D	PR
75	D	D	75	O	D
74	SC	D	74	O	D
73	D	D	73	D	D
72	D	SC	72	D	T
71	D	D	71	T	T
70	D	E	70	T	T
69	D	E	69	T	SC
68	D	D	68	SC	D
67	D	SC	67	D	D
66	D	D	66	D	P
65	D	D	65	O	P
64	D	E	64	O	P
63	E	D	63	O	PR
62	D	D	62	D	PR
61	D	T	61	T	PR
60	SC	SC	60	T	D
59	T	D	59	D	D
58	D	A	58	O	D



38	T	SC
37	T	I
36	SC	I
35	T	SC
34	SC	SC
33	SC	T
32	D	T
31	D	T
30	CE	T
29	CE	T
28	CE	D
27	CE	D
26	CE	A
25	E	A
24	D	A
23	D	D
22	T	D
21	T	T
20	T	T
19	T	T
18	SC	T
17	SC	T
16	SC	SC
15	D	SC
14	D	D
13	O	D
12	O	O
11	O	O
10	T	D
9	T	D
8	SC	T
7	SC	T
6	SC	D
5	D	D
4	O	O
3	O	O
2	O	O
1	O	D

t GRÚA 1 GRÚA 2

TURNO MAÑANA

38	D	E
37	CE	D
36	CE	SC
35	D	D
34	T	A
33	D	A
32	E	D
31	E	D
30	D	SC
29	T	D
28	D	E
27	CE	E
26	CE	D
25	D	D
24	T	SC
23	SC	SC
22	D	D
21	E	D
20	E	O
19	D	O
18	D	T
17	O	D
16	O	D
15	D	T
14	SC	SC
13	SC	SC
12	T	D
11	SC	A
10	P	A
9	P	A
8	PR	D
7	PR	SC
6	PR	D
5	PR	FV
4	W	FV
3	PR	D
2	D	T
1	D	SC

t GRÚA 1 GRÚA 2

TURNO TARDE

CARTA BALANCE 3 (03-06-11)

80	T	TV	80	D	A
79	T	TV	79	D	A
78	T	TV	78	T	D
77	SC	TV	77	T	D
76	SC	D	76	T	D
75	D	T	75	T	SC
74	E	T	74	D	T
73	E	T	73	D	T
72	E	SC	72	E	T
71	D	SC	71	E	T
70	D	SC	70	E	T
69	O	SC	69	D	D
68	O	D	68	SC	D
67	D	D	67	D	D
66	D	T	66	N	EP
65	SC	T	65	N	EP
64	D	TV	64	D	EP
63	E	TV	63	SC	EP
62	E	TV	62	T	EP
61	D	D	61	T	D
60	D	D	60	T	D
59	T	SC	59	T	D
58	D	T	58	D	SC
57	D	D	57	D	T
56	O	T	56	E	D
55	O	T	55	E	E
54	W	TV	54	E	E
53	O	TV	53	E	E
52	O	TV	52	E	E
51	D	D	51	E	E
50	D	T	50	E	D
49	SC	SC	49	E	T
48	SC	SC	48	D	T
47	W	D	47	T	SC
46	W	T	46	T	A
45	W	T	45	T	A
44	W	T	44	T	A
43	W	TV	43		A
42	W	TV	42	D	D

41	O	D	41	PR	T
40	O	D	40	PR	T
39	SC	SC	39	PR	SC
38	SC	SC	38	D	D
37	T	SC	37	D	A
36	T	D	36	D	A
35	T	A	35	D	A
34	T	A	34	SC	A
33	D	A	33	D	A
32	A	D	32	PR	D
31	A	D	31	PR	D
30	D	SC	30	D	SC
29	D	SC	29	I	D
28	SC	T	28	SC	A
27	D	T	27	D	A
26	O	D	26	PR	A
25	O	D	25	PR	A
24	D	D	24	PR	A
23	D	V	23	D	A
22	SC	V	22	D	D
21	D	V	21	D	D
20	O	V	20	D	SC
19	O	TV	19	D	SC
18	O	TV	18	D	T
17	D	TV	17	D	T
16	D	TV	16	D	T
15	SC	D	15	D	T
14	T	D	14	D	T
13	T	SC	13	SC	T
12	SC	T	12	E	T
11	SC	T	11	E	T
10	D	T	10	E	T
9	S	T	9	E	D
8	S	D	8	E	D
7	S	CE	7	E	A
6	D	CE	6	D	A
5	D	CE	5	SC	A
4	SC	D	4	T	A
3	D	T	3	D	A
2	E	SC	2	E	A
1	E	E	1	E	D

GRÚA 1

GRÚA 2

GRÚA 1

GRÚA 2

TURNO MAÑANA

TURNO TARDE

CARTA BALANCE 4 (04-06-11)

140	D	E	140	T	C
139	D	D	139	T	C
138	D	SC	138	T	C
137	D	D	137	T	C
136	D	CE	136	T	C
135	E	CE	135	T	C
134	D	W	134	T	C
133	D	CE	133	T	C
132	D	E	132	T	C
131	T	E	131	T	C
130	D	E	130	T	C
129	D	D	129	T	C
128	SC	D	128	T	C
127	SC	SC	127	T	C
126	D	D	126	T	C
125	D	E	125	T	TC
124	D	SC	124	SC	TC
123	E	D	123	T	TC
122	SC	D	122	D	W
121	D	C	121	D	W
120	D	C	120	A	TC
119	T	W	119	A	TC
118	T	W	118	D	D
117	T	W	117	T	D
116	SC	W	116	T	T
115	SC	W	115	T	T
114	D	W	114	T	T
113	D	C	113	O	T
112	E	C	112	O	T
111	D	C	111	D	T
110	D	C	110	D	T
109	D	C	109	D	D
108	D	W	108	T	A
107	T	W	107	T	A
106	D	W	106	T	D
105	SC	W	105	T	T
104	D	TC	104	T	T
103	D	D	103	T	T
102	D	D	102	D	T

57	D	A	57	D	D
56	D	D	56	D	D
55	E	D	55	T	D
54	D	SC	54	T	P
53	D	D	53	SC	P
52	T	D	52	T	PR
51	SC	O	51	T	PR
50	D	D	50	T	PR
49	A	D	49	T	PR
48	A	SC	48	T	D
47	D	D	47	T	D
46	SC	O	46	SC	D
45	D	O	45	T	D
44	A	D	44	T	SC
43	A	D	43	SC	D
42	A	T	42	T	D
41	A	T	41	T	PR
40	D	T	40	T	PR
39	D	T	39	T	D
38	T	T	38	T	SC
37	SC	T	37	SC	D
36	D	T	36	SC	PR
35	S	T	35	D	PR
34	T	T	34	D	PR
33	S	SC	33	D	PR
32	D	D	32	N	D
31	D	V	31	N	D
30	SC	V	30	N	D
29	T	TV	29	D	SC
28	SC	TV	28	SC	T
27	D	D	27	D	D
26	D	D	26	O	D
25	N	T	25	D	D
24	N	T	24	SC	SC
23	N	SC	23	D	D
22	D	D	22	N	PR
21	D	D	21	N	PR
20	D	CP	20	N	PR
19	T	CP	19	D	D
18	SC	CP	18	D	D
17	D	CP	17	D	D
16	D	TP	16	D	SC
15	D	TP	15	T	PR
14	D	TP	14	T	PR

GRUA 1		GRUA 2		GRUA 1		GRUA 2	
TURNO MAÑANA				TURNO TARDE			
13	E	D		13	SC	D	
12	T	D		12	D	D	
11	E	T		11	D	SC	
10	E	T		10	C	D	
9	D	T		9	C	P	
8	SC	T		8	C	P	
7	T	SC		7	C	P	
6	D	D		6	C	PR	
5	D	V		5	C	PR	
4	O	V		4	C	PR	
3	O	V		3	C	D	
2	D	TV		2	C	D	
1	D	TV		1	TC	SC	

CARTA BALANCE 5 (06-06-11)

110	D	D	O	A
109	D	O	O	D
108	D	O	D	D
107	D	O	D	T
106	T	O	D	SC
105	T	O	O	D
104	T	O	O	A
103	T	D	O	A
102	T	D	D	D
101	T	D	D	D
100	T	T	D	T
99	SC	T	O	D
98	D	SC	O	D
97	E	SC	D	D
96	E	SC	D	A
95	E	D	D	A
94	E	D	T	A
93	D	D	T	D
92	D	O	T	D
91	SC	O	T	SC
90	D	O	T	O
89	D	O	D	O
88	CE	D	D	SC
87	CE	D	D	D

86	CE	D	86	O	D
85	E	O	85	O	D
84	E	O	84	D	D
83	E	O	83	D	A
82	E	D	82	D	A
81	D	D	81	T	D
80	SC	D	80	SC	D
79	SC	SC	79	D	D
78	D	SC	78	D	D
77	CE	D	77	E	T
76	CE	D	76	E	SC
75	CE	T	75	D	D
74	E	T	74	D	D
73	E	T	73	T	D
72	E	T	72	D	A
71	D	SC	71	D	A
70	D	SC	70	O	D
69	T	D	69	O	D
68	T	D	68	O	SC
67	T	D	67	T	D
66	T	A	66	T	D
65	SC	A	65	T	A
64	SC	A	64	T	A
63	T	W	63	T	D
62	T	W	62	T	SC
61	T	A	61	T	D
60	T	T	60	T	D
59	T	T	59	T	D
58	T	T	58	D	A
57	SC	T	57	D	A
56	SC	T	56	O	D
55	D	SC	55	O	D
54	FV	SC	54	D	SC
53	FV	D	53	D	D
52	FV	O	52	D	A
51	D	O	51	D	A
50	D	D	50	O	D
49	D	SC	49	O	D
48	SC	O	48	D	D
47	SC	O	47	T	SC
46	D	W	46	T	SC
45	E	O	45	D	SC
44	E	O	44	O	T
43	W	D	43	O	T

42	E	T	O	T
41	E	T	D	D
40	E	D	T	D
39	D	O	T	D
38	D	O	D	A
37	D	SC	O	A
36	T	T	O	D
35	D	T	D	D
34	D	T	D	D
33	D	T	D	D
32	O	T	SC	T
31	O	T	T	T
30	O	SC	SC	T
29	O	T	T	T
28	O	SC	T	T
27	D	T	T	SC
26	D	T	T	T
25	SC	T	T	T
24	D	T	T	T
23	D	T	T	T
22	FV	T	T	T
21	FV	T	T	T
20	D	T	T	T
19	SC	T	T	T
18	D	T	T	T
17	CE	T	T	T
16	CE	T	T	SC
15	CE	T	T	T
14	E	D	T	SC
13	E	D	T	T
12	E	D	T	T
11	D	D	SC	T
10	D	SC	SC	D
9	D	SC	T	D
8	D	SC	T	O
7	SC	SC	T	O
6	D	D	T	D
5	CE	A	T	D
4	CE	A	T	D
3	CE	A	SC	D
2	E	A	D	D
1	D	D	SC	D

GRUA 1

GRUA 2

GRUA 1

GRUA 2

TURNO MAÑANA

TURNO TARDE



Anexo 4: Tablas informativas con datos tomados en campo.

	GRUA 1		GRUA 2	
	MINUTOS	%	MINUTOS	%
TNC	484	16.21	319	19.96
TP	455	15.24	291	18.21
TC	2047	68.55	988	61.83
TOTAL	2986	100	1598	100

	MAÑANA		TARDE	
	GRUA 1	GRUA 2	GRUA 1	GRUA 2
<b>TNC</b>				
Tiempos de espera	186	271	230	15
Carga suspendida	16	16	32	13
Interferencia de gruas	11	4	9	0
<b>TOTAL</b>	<b>213</b>	<b>291</b>	<b>271</b>	<b>28</b>
<b>TP</b>				
Colocación de placa prearmada	0	7	0	0
Colocación de encofrado	73	6	19	0
Colocación de prelosas	30	3	40	0
Colocación de fondo de vigas	19	6	0	0
Colocación de viga prearmada	0	27	0	4
Colocación de columna prearmada	0	24	9	14
Viaje sin carga	145	188	120	12
<b>TOTAL</b>	<b>267</b>	<b>261</b>	<b>188</b>	<b>30</b>
<b>TC</b>				
Traslado de placa prearmada	0	5	4	0
Traslado de encofrado de placas	11	12	0	0
Traslado de varillas de acero	8	87	25	8
Traslado de encofrado	113	49	116	2
Traslado de puntales	13	8	5	0
Traslado fondo viga	22	9	4	2
Traslado de viga prearmada	0	57	10	5
Traslado de columna prearmada	0	3	1	2
Enganche y desenganche de elementos	601	626	658	20
Traslado de prelosa	99	23	58	0
Otros traslados	141	67	146	3
<b>TOTAL</b>	<b>1017</b>	<b>946</b>	<b>1030</b>	<b>42</b>

Anexo 5: Memoria descriptiva del proyecto en estudio.

MEMORIA DESCRIPTIVA

PROYECTO DE ESTRUCTURAS EDIFICIO UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO

(Jesús María - Lima)

1. Del proyecto

El proyecto corresponde al Edificio Educativo de la Universidad del Pacífico a ser construido en el Campus de la Universidad en el Distrito de Jesús María. El edificio tiene un área construida de aproximadamente 16991 m<sup>2</sup>, con seis niveles de sótano y 5 pisos de altura.

2. Características estructurales

El edificio es de concreto armado, estructurado mediante placas, columnas y vigas dispuestas ortogonalmente, conformando pórticos resistentes a cargas verticales y horizontales en ambas direcciones. Los entrepisos corresponden a losas macizas de 20 cm de espesor, armados en una o dos direcciones, que apoyan sobre las vigas de los pórticos o en las placas. Para cubrir algunas luces importantes, existen vigas con sistema pretensado.

Los sótanos están estructurados de manera similar, contando con un muro perimetral de contención de concreto armado.

El área del auditorio está estructurada mediante vigas de acero apoyadas sobre las columnas de su perímetro. El entrepiso del auditorio corresponde a una losa colaborante de 9cm de espesor que apoya directamente sobre viguetas, apoyadas éstas a su vez en las vigas mencionadas.

La cimentación de la edificación es mediante zapatas y cimientos corridos de concreto armado.

### 3. Materiales

La cimentación ha sido diseñada para una capacidad portante de 6.0 kg/cm<sup>2</sup>.

El acero en barras corrugadas a usar será de  $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>.

El concreto especificado es de  $f'_c = 280$  kg/cm<sup>2</sup> para la cimentación, muros, y las columnas, placas y vigas desde la cimentación hasta el encofrado del tercer nivel, y 245 kg/cm<sup>2</sup> para el resto de los elementos.

### 4. Cumplimiento del Reglamento Nacional de Edificaciones

El proyecto ha sido analizado y diseñado para las cargas verticales de uso y cargas horizontales de sismo estipuladas por el Reglamento Nacional de Construcciones.

El análisis de las estructuras ha sido realizada mediante el programa ETABSv9.5, y los elementos de concreto diseñados con programas propios y verificados con el programa ETABSv9.5.

En caso de efectos sísmicos, se ha verificado los esfuerzos y deformaciones de la edificación, teniendo en cuenta las características de ductilidad de la misma, siguiendo las pautas de la Norma Sísmica del Reglamento Nacional de Construcciones.

### 5. De las excavaciones

Las excavaciones para los sótanos del edificio serán realizadas mediante muros pantalla ancladas al terreno con cables tensados y bulbo inyectado. Los muros serán la estructura definitiva perimetral del edificio, los cuales se construirán con los refuerzos correspondientes a los elementos verticales, tales como las placas involucradas con el perímetro a construir. Para el caso de las vigas de cada nivel se dejarán cajuelas con tecnoport o similar de manera que éstas sean construidas posteriormente con sus refuerzos y usando resinas epóxicas para su adecuada conexión con los muros. Para las losas se dejará anclajes en todo el perímetro y un receso de 5cm para ser conectadas mediante el uso de resinas epóxicas y con el traslape del refuerzo.

6. Secuencia constructiva y Anclajes al terreno

Los anclajes al terreno se realizarán de acuerdo a los planos elaborados por la empresa adjudicada para este trabajo. La secuencia constructiva de los muros será igualmente de acuerdo a lo indicado en los planos de la empresa adjudicada y luego serán completados los anclajes correspondientes. Las uniones entre muros será mediante superficies rugosas y los anclajes y traslapes de los refuerzos, que serán de no menos de 40 diámetros de la barra a traslapar. Los anclajes de los muros no serán tensados hasta que la resistencia del concreto especificada sea alcanzada, pudiéndose usar concreto de mayor resistencia para acelerar este proceso, o usando acelerantes que no contengan cloruros.

38	T	SC
37	T	I
36	SC	I
35	T	SC
34	SC	SC
33	SC	T
32	D	T
31	D	T
30	CE	T
29	CE	T
28	CE	D
27	CE	D
26	CE	A
25	E	A
24	D	A
23	D	D
22	T	D
21	T	T
20	T	T
19	T	T
18	SC	T
17	SC	T
16	SC	SC
15	D	SC
14	D	D
13	O	D
12	O	O
11	O	O
10	T	D
9	T	D
8	SC	T
7	SC	T
6	SC	D
5	D	D
4	O	O
3	O	O
2	O	O
1	O	D

t GRÚA 1 GRÚA 2

TURNO MAÑANA

38	D	E
37	CE	D
36	CE	SC
35	D	D
34	T	A
33	D	A
32	E	D
31	E	D
30	D	SC
29	T	D
28	D	E
27	CE	E
26	CE	D
25	D	D
24	T	SC
23	SC	SC
22	D	D
21	E	D
20	E	O
19	D	O
18	D	T
17	O	D
16	O	D
15	D	T
14	SC	SC
13	SC	SC
12	T	D
11	SC	A
10	P	A
9	P	A
8	PR	D
7	PR	SC
6	PR	D
5	PR	FV
4	W	FV
3	PR	D
2	D	T
1	D	SC

t GRÚA 1 GRÚA 2

TURNO TARDE