

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD DE
LOSAS PREFABRICADAS (PRELOSAS) EN EDIFICACIONES CON LA
APLICACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION
COMPARADA CON LOSAS CONVENCIONALES**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

LUIS BRANDO MANUEL AIME ARROYO

Lima- Perú

Digitalizado por:

2015

RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	11
1.1.- TEMA DE INVESTIGACIÓN	11
1.2.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	11
1.3.- HIPÓTESIS	11
1.4.- OBJETIVO GENERAL	11
1.5.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	13
2.1.- RESEÑA HISTÓRICA DE LOS PREFABRICADOS Y EL ESTADO DEL ARTE	13
2.2.- CONCEPTO DE PREFABRICADO Y DESARROLLO DE PRELOSA	18
2.2.1.- Concepto de Prefabricados	18
2.2.2.- Desarrollo de Prelosa	18
2.2.2.1.- Definición y Características de las Prelosas	18
2.2.2.2.- Proceso de Fabricación de Prelosas	20
a) Habilitación del molde	20
b) Trazado y encofrado de la prelosa	21
c) Instalación del acero	21
d) Colocación de separadores	21
e) Vaciado	22
f) Desmoldaje	22
g) Apilado	23
h) Curado	23
i) Cargado	24
2.2.2.3.- Consideraciones en el uso de Prelosas	25
a.- Carguío de Prelosas	25
b.- Izaje de Prelosas	26
c.- Apuntalamiento de Prelosas	28
d.- Instalación de Prelosas desde el camión hasta su ubicación final	29
e.- Almacenamiento de prelosas en obra	32
2.2.2.4.- Tipos de Losas Prefabricadas	34
a.- Prelosa de Concreto para Losas Macizas	34
b.- Prelosa de Concreto para Losas Aligeradas	34
2.2.2.5.- Usos en la Construcción	36
2.2.2.6.- Proveedores de Losas Prefabricadas en el Perú	37
2.3.- FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION COMO MÉTODO DE MEJORA EN LA PRODUCTIVIDAD DE PRELOSAS	37
2.3.1.- Lean Construction	37
2.3.2.- Beneficios que aporta la implantación de Lean Construction	38

2.3.3.- Problemas de los Sistemas Tradicionales ¿Cómo ataca Lean estos problemas?	39
2.3.4.1.- Lograr que los flujos no se detengan	42
2.3.4.2.- Lograr que los flujos sean eficientes	43
2.3.4.3.- Lograr que los Procesos sean Eficientes	43
2.3.5.- Método del Último Planificador	45
2.3.5.1.- Planificación	45
a.- Estructura de División del Trabajo (EDT)	46
b.- Layout del Proyecto	46
c.- Sectorización del Proyecto	46
d.- Tren de Actividades	47
2.3.5.2.- Programación	47
a.- Rutina de Reuniones Semanales del Proyecto	49
b.- Look Ahead	49
c.- Análisis de Restricciones	49
2.3.5.3.- Productividad	49
a.- Informe de Productividad (IP)	50

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DEL USO DE LOSAS PREFABRICADAS (PRELOSAS) EN EDIFICACIÓN BAJO LA APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION	51
3.1.- EVALUACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO LEURO	51
3.1.1.- Información General del Proyecto Leuro	52
3.1.2.- Análisis de las deficiencias de la Programación y Planificación Tradicional	65
3.1.3.- Análisis de la Planificación y Programación con Lean	66
3.1.3.1.- Estructuras de división de trabajo	66
3.1.3.3.- Planificación de Grúas Torre	70
3.1.3.4.- Sectorización del proyecto	71
a.- Sectorización con el sistema de losas convencionales	72
b.- Sectorización con el sistema de prelosas	74
3.1.3.5.- Tren de Actividades, Plan Semanal y Lookahead	78
3.1.3.6.- Cronogramas tentativos	81
3.1.3.7.- Recursos a utilizar según sectores	83
3.1.3.8.- Análisis de Restricciones	87
3.2.- EVALUACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	90
3.2.1.- Proceso Constructivo de Losas Convencionales	90
3.2.1.1.- Consideraciones Iniciales	90
3.2.1.2.- Actividades Previas	90
3.2.1.3.- Preparación del Vaciado	90
3.2.1.4.- Vaciado de Concreto	93
3.2.1.5.- Desencofrado de Losa y Acabado final	93
3.2.2.- Proceso de Constructivo de Losas con la utilización de Prelosas	93
3.2.2.1.- Consideraciones Iniciales	93
3.2.2.2.- Actividades Previas	94
3.2.2.3.- Instalación de las Prelosas	96
3.2.2.4.- Vaciado de Concreto	97
3.3.- PROCESOS EFICIENTES	97

3.3.1.- Reporte de Tiempos en la Colocación de Losas Prefabricadas	98
3.3.1.1.- Optimización en los tiempos de enganche	102
3.3.2.- Carta Balance.	104
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL USO DE LOSAS PREFABRICADAS (PRELOSAS) EN EDIFICACIÓN	108
4.1.- ANÁLISIS COMPARATIVO EN RECURSOS UTILIZADOS	108
4.1.1.- Comparativo de concreto utilizado en obra para losas en el edificio Leuro	109
4.1.2.- Comparativo de acero utilizado en obra para losas en el edificio Leuro	110
4.1.3.- Comparativo de encofrado utilizado en obra para losas en el edificio Leuro	111
4.1.4.- Comparativo de ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno expandido utilizado en obra para losas en el edificio Leuro	113
4.2.- ANÁLISIS COMPARATIVO ECONÓMICO ENTRE SISTEMA DE LOSAS CONVENCIONALES VS SISTEMA DE LOSAS PREFABRICADAS	113
4.2.1.- Partidas con el Sistema de Losas Convencionales:	114
4.2.2.- Partidas con el Sistema de Losas Prelosas:	117
4.2.3.- Presupuestos comparativos entre Sistema de Losas Convencionales vs Sistema Losas Prefabricadas	120
CAPÍTULO V: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOSAS PREFABRICADAS	125
5.1.- VENTAJAS	125
5.2.- DESVENTAJAS	134
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
6.1.- CONCLUSIONES	135
6.2.- RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS	142

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal evaluar la rentabilidad del uso de prelosas como un sistema que reemplace al sistema de losas convencionales.

Para empezar se describirán las características de la prelosa, los tipos, su proceso de fabricación, sus usos, entre otros. Así mismo se describirá la importancia de la aplicación de la filosofía Lean Construction, como metodología innovadora esencial para mejorar la productividad de las prelosas y hacer más rentable los costes y el tiempo de la ejecución de la obra.

En el tercer capítulo se desarrollará la planificación y programación del proyecto con el uso de prelosas y bajo la aplicación de la filosofía Lean (1) protegiendo la no paralización del flujo productivo (mediante lookaheads y análisis de restricciones), (2) haciendo eficiente este flujo (mediante la sectorización del edificio) y finalmente (3) buscar hacer eficientes los procesos (por medio propuestas de mejora y de cartas balance). Se comparará el uso de prelosas frente al sistema losas convencionales mostrando las ventajas en cuanto al tiempo de su construcción por la omisión y/o reemplazo de procesos y recursos.

Una vez obtenida la programación, será posible cuantificar los costos directos e indirectos del proyecto para la construcción de losas. En el cuarto capítulo se realizará un análisis de la cantidad de recursos usados en obra y se mostrarán los análisis de precios unitarios de cada partida, con el objeto de elaborar una comparación de presupuestos entre ambos sistemas.

Finalmente se mostrarán las ventajas y desventajas que se han podido identificar en distintos proyectos de edificaciones.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1: Tiempos de ciclos de colocación de prelosas	32
Cuadro 2.2: Cuadro informativo del estado de Lean Construction 2012 - 2013	39
Cuadro 3.1: Cuadro leyenda del layout sótanos	68
Cuadro 3.2: Cuadro leyenda del layout torre	69
Cuadro 3.3: Recursos utilizados en losa convencional en sótanos	72
Cuadro 3.4: Recursos utilizados en losa convencional del piso 1 al 13	72
Cuadro 3.5: Recursos utilizados en losa convencional del piso 4 al 14	73
Cuadro 3.6: Recursos utilizados en losa convencional del piso 15 al 17	73
Cuadro 3.7: Recursos utilizados en losa con el uso de prelosa en sótanos	75
Cuadro 3.8: Recursos utilizados en losa c/el uso de prelosa del piso 1 al piso 3	76
Cuadro 3.9: Recursos utilizados en losa c/el uso de prelosa del piso 4 al piso 14	77
Cuadro 3.10: Recursos utilizados en losa c/el uso de prelosa del piso 15 al piso 17	78
Cuadro 3.11: Lookahead para la construcción del piso 4 bajo el sistema de losa convencional	79
Cuadro 3.12: Lookahead para la construcción del piso 4 bajo el sistema de prelosa	80
Cuadro 3.13: Materiales utilizados Sótanos típicos del sótano 8 al sótano 1	83
Cuadro 3.14: Horas hombre utilizados Sótanos típicos del sótano 8 al sótano 1	83
Cuadro 3.15: Materiales utilizados Pisos típicos del piso 1 al piso 3	84
Cuadro 3.16: Horas hombre utilizados Pisos típicos del piso 1 al piso 3	84
Cuadro 3.17: Materiales utilizados Pisos típicos del piso 4 al piso 14	85
Cuadro 3.18: Horas hombre utilizados Pisos típicos del piso 4 al piso 14	85
Cuadro 3.19: Materiales utilizados Pisos típicos del piso 15 al piso 17	86
Cuadro 3.20: Horas hombre utilizados Pisos típicos del piso 15 al piso 17	86
Cuadro 3.21: Cuadro comparativo de actividades en un sector	97
Cuadro 3.22: Control de tiempos de colocación de prelosas desde el camión hasta su posición final.	101
Cuadro 3.23: Carta balance 1 para colocación de prelosa	104
Cuadro 3.24: Carta balance 2 para colocación de prelosa	105
Cuadro 3.25: Carta balance 3 para colocación de prelosa	106
Cuadro 3.26: Cuadro resumen de tiempos para colocación de prelosa	107
Cuadro 4. 1: Cuadro de áreas de losas en el edificio Leuro	109
Cuadro 4. 2: Cuadro comparativo de concreto por unidad de área	110
Cuadro 4. 3: Cuadro de cantidades de acero por unidad de área en losa convencional	110
Cuadro 4. 4: Cuadro de cantidades de acero por unidad de área en prelosa	111
Cuadro 4. 5: Cuadro comparativo de la disposición de recursos para encofrado de losa de acuerdo al sistema utilizado	112
Cuadro 4. 6: Cuadro comparativo de ladrillos	113
Cuadro 4. 7: Análisis de precios unitarios encofrado de losa	114
Cuadro 4. 8: Análisis de precios unitarios acero corrugado	114
Cuadro 4. 9: Análisis de precios unitarios concreto $f'c=280$ kg/cm ²	115
Cuadro 4. 10: Análisis de precios unitarios ladrillo de techo 15x30x30	115
Cuadro 4. 11: Análisis de precios unitarios tarrajeo de cielo raso	116
Cuadro 4. 13: Análisis de precios unitarios curado de losa	116
Cuadro 4. 14: Análisis de precios unitarios encofrado de prelosa	117

Cuadro 4. 15: Análisis de precios unitarios acero corrugado	117
Cuadro 4. 16: Análisis de precios unitarios concreto $f'c=280$ kg/cm ²	118
Cuadro 4. 17: Análisis de precios unitarios prelosa	118
Cuadro 4. 18: Análisis de precios unitarios prelosa	119
Cuadro 4. 19: Análisis de precios unitarios dowels	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Vista de la colocación final de prelosa	19
Figura 2.2: Colocación de desmoldante para vaciado de prelosa	20
Figura 2.3: Trazado de dimensiones de prelosa	21
Figura 2.4: Instalación de aceros en la "galleta" de prelosa	21
Figura 2.5: Colocación de separadores que garanticen el recubrimiento del acero	22
Figura 2.6: Vaciado de la "galleta" de la prelosa	22
Figura 2.7: Desmoldaje de prelosa	23
Figura 2.8: Almacenamiento o apilado de prelosa	23
Figura 2.9: Curado de prelosa	24
Figura 2.10: Izaje o cargado de prelosa a camión	24
Figura 2.11: Esquema de carguío de prelosas en el camión.	25
Figura 2.12: Esquema de puntos de izaje para prelosas de hasta 4.00m de longitud	27
Figura 2.13: Esquema de puntos de izaje para prelosas de 4.00m a 6.50m de longitud	27
Figura 2.14: Esquema de puntos de izaje para prelosas de más de 6.50m de longitud	28
Figura 2.15: Esquema de la separación entre viguetas soleras	29
Figura 2.16: Doblado de aceros a un extremo de la prelosa	30
Figura 2.17: Colocación inclinada de prelosa en el primer extremo de colocación	31
Figura 2.18: Colocación de prelosa empotrada a viga	31
Figura 2.19: Corte transversal de prelosa	32
Figura 2.20: Esquema de colocación de tacos elevación	33
Figura 2.21: Esquema de colocación de tacos en planta	33
Figura 2.22: Detalle de losa maciza con el uso de prelosa	34
Figura 2.23: Detalle de losa aligerada con el uso de prelosa	35
Figura 2.24: Detalle de prelosa aligerada y encuentro con Muro pantalla	35
Figura 2.25: Acero de prelosa aligerada y encuentro con Muro pantalla	36
Figura 2.26: Vista desde el inferior de una prelosa colocada	36
Figura 2.27: Sistema Last Planer.	48
Figura 3.1: Render del proyecto	51
Figura 3.2: Vista google earth con dimensiones del perímetro del terreno	52
Figura 3.3: Vistas del modelamiento bim	52
Figura 3.4: Planta subsuelo	53
Figura 3.5: Planta del sótano 2	54
Figura 3.6: Planta del piso 1 (zona comercial)	55
Figura 3.7: Planta del piso 2	56
Figura 3.8: Planta del piso 4	57
Figura 3.9: Piso semi típico 5 – 11 (ascensores)	58
Figura 3.10: Piso 15-17	59
Figura 3.11: Piso semi típico 5 – 11 (ascensores)	60

Figura 3.12: Corte 1-1 del edificio	61
Figura 3.13: Corte 3-3 del edificio	62
Figura 3.14: Vista de elevación av. benavides	63
Figura 3.15: Vista planta ubicación de av. benavides	63
Figura 3.16: Vista de elevación av. paseo de la república	64
Figura 3.17: Vista planta ubicación de av. paseo de la república	64
Figura 3.18: EDT del proyecto leuro	67
Figura 3.19: Layout sótanos	69
Figura 3.20: Layout torre	70
Figura 3.21: Plano con alcances de la grúa según su radio	71
Figura 3.22: Sectorización de sótanos	74
Figura 3.23: Sectorización del 1er al 3er piso	75
Figura 3.24: Sectorización del 4to al 14vo piso	76
Figura 3.25: Sectorización del 15vo al 17vo piso	77
Figura 3.26: Cronograma tentativo con el sistema de losas convencionales	82
Figura 3.27: Cronograma tentativo con el sistema de losas convencionales	82
Figura 3.28: Esquema de solicitud de prelosa	88
Figura 3.29: Esquema de encofrado para losa convencional	91
Figura 3.30: Colocación de aceros verticales	94
Figura 3.31: Encofrado con aceros verticales	95
Figura 3.32: Encofrado de fondo de viga	95
Figura 3.33: Colocación de acero de viga	96
Figura 3.34: Colocación de prelosas	96
Figura 3.35: Vaciado de prelosas	97
Figura 3.36: Colocación de prelosa - enganche	98
Figura 3.37: Colocación de prelosa – transporte	98
Figura 3.38: Colocación de prelosa - colocación	99
Figura 3.39: Colocación de prelosa - desenganche	99
Figura 3.40: Sector 1A del 5to piso	100
Figura 3.41: Colocación de prelosa sin vigueta de izaje	102
Figura 3.42: Esquema de sistema de izaje propuesto	103
Figura 3.43: Diagrama de barras para los tiempos de colocación de prelosa	107
Figura 4.1: Losa convencional aligerada	108
Figura 4.2: Losa aligerada con el uso de prelosa	109
Figura 4.3: Esquema de encofrado para losa convencional	111
Figura 4.4: Apuntalamiento para prelosas	112
Figura 5.1: Encofrado de losa convencional	125
Figura 5.2: Apuntalamiento de prelosa	125
Figura 5.3: Acabado de losa convencional	126
Figura 5.4: Acabado de prelosa	126
Figura 5.5: Losa convencional con ladrillos huecos	127
Figura 5.6: Prelosa con casetones de poliestireno	127
Figura 5.7: Acero positivo de losa convencional	127
Figura 5.8: Acero positivo de prelosa	128
Figura 5.9: Instalaciones en losa convencional	128
Figura 5.10: Instalaciones en prelosa	129
Figura 5.11: Prelosa en aligerada	129

Figura 5.12: Prelosa en maciza	130
Figura 5.13: Materiales apilados con losa convencional	130
Figura 5.14: Apilamiento de prelosa	131
Figura 5.15: Izaje de prelosa en obra	131
Figura 5.16: Cuadrilla de operarios en losa convencional	132
Figura 5.17: Cuadrilla de operarios en prelosa	132
Figura 5.18: Losa convencional con ladrillos de arcilla	133
Figura 5.19: Prelosa con casetones de poliestireno	133

INTRODUCCIÓN

Muchos de los métodos y procesos constructivos se formaron hace siglos y muchas de estos se practican hasta el día de hoy, retrasando la innovación en la industria de la construcción e impidiendo que se resuelvan de raíz sus problemas.

Una de las principales iniciativas que ha intentado resolver los problemas crónicos de la construcción, es la industrialización, realizada a través de propuestas como la prefabricación de elementos estructurales, lo que ha sido considerado por muchos investigadores como una dirección de mejora. Sus objetivos están alineados con los objetivos de las mejoras de flujo, ya que la construcción industrializada simplifica los procesos constructivos en la obra, reduciendo los plazos de ejecución y los costos.

Ahora bien, debido a que, a pesar de la entrada de elementos prefabricados, la gestión de la producción en la construcción se sigue realizando de forma tradicional, muchas empresas no logran mejorar los costos de construcción ni minimizar sus plazos. La condición necesaria para que la industrialización sea efectiva es que los flujos de la construcción sean bien controlados.

Es por ello que en la presente tesis se evaluará la construcción del losas monolíticas de concreto armado con el uso de las prelosas (el cual es un elemento prefabricado) bajo la aplicación de una filosofía de producción innovadora como Lean Construction.

El elemento en estudio será denominado "prelosa" el cual también ha sido denominado en el título como "losa prefabricada" por ser un elemento que llega fabricado y listo para el montaje en obra. Sin embargo, es preciso mencionar que este elemento al ser montado y ubicado en su posición final es solo parte de la losa monolítica de concreto armado.

Se analiza este elemento por ser de gran potencial para reducir la utilización de otros recursos, así como uno de los principales hitos en los trenes de actividades

en la etapa de ejecución del “casco” en las obras de edificaciones y debido a que, por sus características, cubre mayores áreas en los edificios, por ende, mayores volúmenes de trabajo. Se hace importante el análisis de su utilización y las ventajas que ofrece frente a métodos tradicionales, para mejorar la rentabilidad de su empleo en la construcción de edificios.

Para la presente tesis se ha tomado en estudio el proyecto “Centro Empresarial Leuro” el cual fue construido bajo un sistema de losas monolíticas de concreto con el uso de prelosas en la ciudad de Lima durante el periodo de octubre del 2013 hasta febrero del 2015.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.- Tema de Investigación

Rentabilidad del uso de prelosas bajo la aplicación de la filosofía Lean Construction para la construcción de edificaciones.

1.2.- Problema de Investigación

Las restricciones en los horarios (horario máximo hasta las 5 pm de la tarde) que la municipalidad de Miraflores implantó para la construcción del “Centro Empresarial Leuro”, puso en riesgo la entrega del edificio dentro del plazo contractual, por lo que se vio necesario evaluar y analizar el uso de prelosas para la construcción del casco del edificio. A dicho cambio de sistema se lo analizó bajo la aplicación de la filosofía Lean Construction para optimizar su productividad.

1.3.- Hipótesis

El uso de Losas Prefabricadas en edificaciones bajo la aplicación cuidadosa de Lean Construction, busca conseguir la máxima productividad en los procesos, por tratarse este de un elemento hito en los trenes de actividades, por ende maximiza la rentabilidad del uso de elemento en estudio en la construcción.

1.4.- Objetivo General

Evaluar la rentabilidad del uso de prelosas en edificaciones con la aplicación de la filosofía Lean Construction.

1.5.- Objetivos Específicos

- Identificar las ventajas y desventajas del proceso constructivo con el uso de prelosas.
- Realizar un análisis comparativo entre el sistema de losas prefabricadas vs losas convencionales (ratios, rendimientos, costos, cartas balance, entre otros).
- Realizar un análisis comparativo económico para cuantificar el potencial de beneficio económico debido a la reducción de costos por la cantidad de recursos utilizados.
- Comparar los trenes de actividades de la construcción de losas monolíticas de concreto con el sistema convencional y el sistema des prelosas.
- Cuantificar el potencial de beneficio en tiempo de ejecución programados entre ambos sistemas (convencional y prelosa).
- Aplicar la filosofía Lean Construction en el planeamiento y programación del proyecto.
- Realizar mediciones en campo utilizando herramientas de la filosofía Lean Construction.
- Implementar mejoras en el proceso constructivo con el uso de prelosas para mejorar ratios y rendimientos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- Reseña Histórica de los Prefabricados y el Estado del Arte

A lo largo de la historia hay varios precedentes de prefabricación debido al propósito de la sociedad de optimizar la eficiencia de los procesos productivos.

El primer ejemplo significativo de construcción industrializada se dio en el siglo XVI, cuando a Leonardo da Vinci se le dio por encargo planificar una serie de nuevas ciudades en la región de Loire. Su planteamiento consistió en establecer, en el centro y origen de cada ciudad, una fábrica de elementos básicos que permitieran conformar a su alrededor un gran abanico de edificios. Dichas construcciones habían sido diseñadas previamente por él mismo para generar, de forma fluida y flexible, una gran diversidad de tipologías edificatorias con un mínimo de elementos constructivos comunes.

Otro ejemplo es el sucedido en ese mismo siglo durante la guerra entre Francia e Inglaterra, donde el ejército francés, de Francisco I y luego, de Enrique II, planificó las batallas contra Inglaterra construyendo pabellones de madera prefabricados los cuales eran transportados por barco. Se montaban y desmontaban rápidamente por los propios soldados, de tal forma que los campamentos fueran, además de resistentes y confortables, fuesen ágiles en sus desplazamientos.

Similarmente, en 1578 también se edificó en Baffin (Canadá) una casa prefabricada de madera que había sido construida en Inglaterra. Asimismo, en 1624, la Great House, una casa de madera panelizada y modular, construida por Edward Winslow en Inglaterra, fue trasladada y montada en Massachussets, Estados Unidos. Estos casos no son considerados prefabricación industrializada, ya que la construcción de elementos no fue en serie sino diseñados para

edificaciones singulares, sin embargo se observa que se desarrolló un significativo cambio de mentalidad aplicada a la construcción.

No sería hasta el final del siglo XVIII cuando empezó a ser tangible la posibilidad de industrializar la construcción. En Europa, se empezó a desarrollar la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido, material que sería después aplicado a la elaboración de pilares y vigas de edificios. Al mismo tiempo, en Estados Unidos, se llevó a cabo la construcción de edificios de tipología Balloon Frame, constituidos por listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente.

Se tuvo que esperar hasta finales del siglo XIX para que se volviera a utilizar en edificación el concreto (que apenas se había empleado durante la época de los romanos), que aplicado junto con entramados de alambres (concreto armado), constituía una materia prima ideal para prefabricados.

En 1889, en EEUU, Edward T. Potter dio la primera patente de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de "cajón" apilable. Y en 1891 se prefabrican las primeras vigas de concreto armado para la construcción del Casino de Biarritz. Es así, que en 1892, Edmond Coignet levantó el que parece ser el primer edificio totalmente compuesto por elementos prefabricados de concreto armado; se trataba del Casino Municipal de Biarritz, diseñado por el arquitecto Alfred Lauthé en Biarritz.

Los efectos más importantes de la industrialización consistieron en la introducción de estructuras de acero y de concreto armado como principales materiales de construcción en la segunda mitad del siglo XIX y más tarde en el siglo XX, la industrialización del trabajo en las obras de construcción, aprovechando al máximo los equipos mecanizados para la manipulación de materiales y de los grandes componentes prefabricados del edificio (Warszawski).

En Europa se desarrolló la prefabricación basada en sistemas de diseño cerrados, cuyos elementos representativos eran grandes paneles de concreto,

especialmente en los países del concreto y los países escandinavos. Este hecho fue debido a un contexto de gran demanda de edificación residencial y pocos recursos económicos consecuencia de la II Guerra Mundial. Las características de este sistema de construcción industrializada fueron las siguientes:

- Exigencia de un mínimo del orden de mil viviendas agrupadas para intervenir con sistemas prefabricados.
- Proyectos con mínimas variaciones formales para reducir el número de elementos diferentes.
- Bloques de tipología lineal de gran frente, con el pretexto de evitar el cambio de las vías para las grúas-torre de montaje.
- Luces mínimas de forjados, para cumplir con los gálibos de transporte que condicionaron las dimensiones máximas del tamaño de las habitaciones.
- Nula flexibilidad de distribución en planta: la tabiquería también se ejecutaba con paneles portantes de concreto en las tipologías estructurales cruzadas.

En general, la industrialización se le imponía al proyectista como una herramienta de economía de construcción, y el sistema constructivo representaba un factor "incompatible" con la arquitectura.

A partir de 1970, en los países de Europa, la demanda de viviendas en edificios en altura disminuyó, siendo sustituida por la edificación de viviendas unifamiliares de mayor calidad. La prefabricación a base de sistemas cerrados de viviendas trató de evolucionar, buscando en la fase de producción una mayor flexibilidad, elasticidad y variación, intentando hacer posible la consecución desde estas fábricas de series cortas y diversificación del producto. Este hecho sentó las bases para un futuro sistema de prefabricación abierto.

A finales del siglo XX, la construcción industrializada con sistemas cerrados de diseño quedó obsoleta. Gran parte de los edificios construidos con este sistema, fueron abandonados y demolidos, y la construcción de edificios de viviendas en altura se realizaba mediante sistemas tradicionales.

En cambio, empezó a prosperar la prefabricación de edificios públicos (escuelas, hospitales, oficinas, etc.) y edificios industriales. La industrialización de la

construcción se desarrollaba a base de grandes elementos prefabricados de concreto. Los avances tecnológicos aplicados a este material permitieron prefabricar elementos estructurales y constructivos de variedad de formas y calidades no conseguidas hasta el momento.

En la actualidad, la construcción de edificaciones sigue siendo terriblemente artesanal, pero hay varios factores que están empujando de forma decisiva hacia una mayor e irreversible industrialización. A continuación mencionaremos algunos de estos factores:

La introducción de la cultura del "cero defectos" en todos los demás productos que adquirimos cotidianamente, está provocando que quien compra una edificación destinada a vivienda, cada vez entienda menos que algo que cueste tanto dinero, tenga tantos defectos de acabados. Sólo la industrialización de los procesos productivos puede acercarnos a los estándares normales en otros sectores.

El nivel de siniestralidad de la construcción, mucho más alto que el de la industria, tiene también bastante que ver con la forma en la que se siguen ejecutando los procesos productivos.

El sector está acusando fuertemente la falta de mano de obra calificada, y para ello es necesario valorizar el trabajo que hace la gente en la obra, lo cual será imposible mientras sus condiciones de trabajo sigan estando tan alejadas de las que "disfruta" un operario industrial.

Hoy en día ya existen sistemas de industrialización de muchos elementos de la construcción para edificaciones de viviendas, y en la mayoría de empresas se están utilizando algunos de ellos de forma habitual, como fachadas y cerramientos interiores. También se están utilizando otros menos extendidos, en especial en la estructura del edificio con pilares y vigas completamente industrializadas.

El sector ofrece ya algunos otros elementos como escaleras y baños industrializados, estos últimos especialmente utilizados en hoteles y edificios de Apartamentos.

En nuestro país, el uso de Prefabricados se remonta a la publicación del libro "Estructuras Especiales Compuestas" publicado en los años 70 por el Ing. Miguel Bozzo Chirichigno. El carácter cíclico de la construcción hace que se pierda el conocimiento aprendido por lo que es básico su registro.

Sin embargo, por los años 1950 en el Perú se inicia con el empleo de bloquetas de concreto (Parva-Domus) y con plaquetas de muros y techos que utilizó la empresa Listos S.A. en la construcción de la ciudad satélite de Ventanilla, en el Callao, hacia el año 1960. Luego hacia los años 70' se registran varias empresas que presentan Sistemas Constructivos No Convencionales para su aplicación en nuestro país. En la actualidad los Sistemas Constructivos No Convencionales deben ser aprobados y autorizados por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO, que asume las funciones del Instituto Nacional de Investigación y Normalización – ININVI mediante el Decreto Supremo N°08-95MTC.

El uso de losas prefabricadas en el Perú se da en el año 1997 en el proyecto "Edificio Siglo XXI" de GyM S.A. usándose después en varios proyectos de la empresa y de empresas del medio. No existe ningún registro de este sistema de esa época.

2.2.- Concepto de Prefabricado y Desarrollo de Prelosa

2.2.1.- Concepto de Prefabricados

Para darle una definición y un posterior desarrollo a las Losas Prefabricadas, es importante primero conocer la definición de prefabricados.

La palabra prefabricación, etimológicamente significa fabricar antes y bajo este criterio la Asociación Italiana de la Prefabricación la define como “la fabricación industrial fuera de la obra de partes de la construcción aptas para ser utilizadas mediante distintas acciones de montaje”.

La finalidad de los prefabricados es ejecutar las obras más rápidamente y aplicando el orden, limpieza y precisión de los procesos industriales en la ejecución de las obras, aportando a que estas puedan controlar de mejor forma los procesos menos controlados, tales como mano de obra, rendimiento y desperdicios.

2.2.2.- Desarrollo de Prelosa

2.2.2.1.- Definición y Características de las Prelosas

Las prelosas son elementos prefabricados que forman parte de las losas de techo. Reemplazan a los paneles de madera para el encofrado de techo, colocándose sobre un sistema simple de apuntalamiento y cuyos extremos descansan sobre los encofrados de las vigas del paño. Este elemento será la base y primera capa de la losa de techo integrándose en la misma para su comportamiento estructural al final de su proceso constructivo.

Las ventajas del uso de prelosas en un proyecto son múltiples, como la disminución del uso y armado de encofrados, los ahorros de recursos y de tiempo de ejecución en obra. Estas ventajas se analizarán con mayor profundidad en los siguientes capítulos.

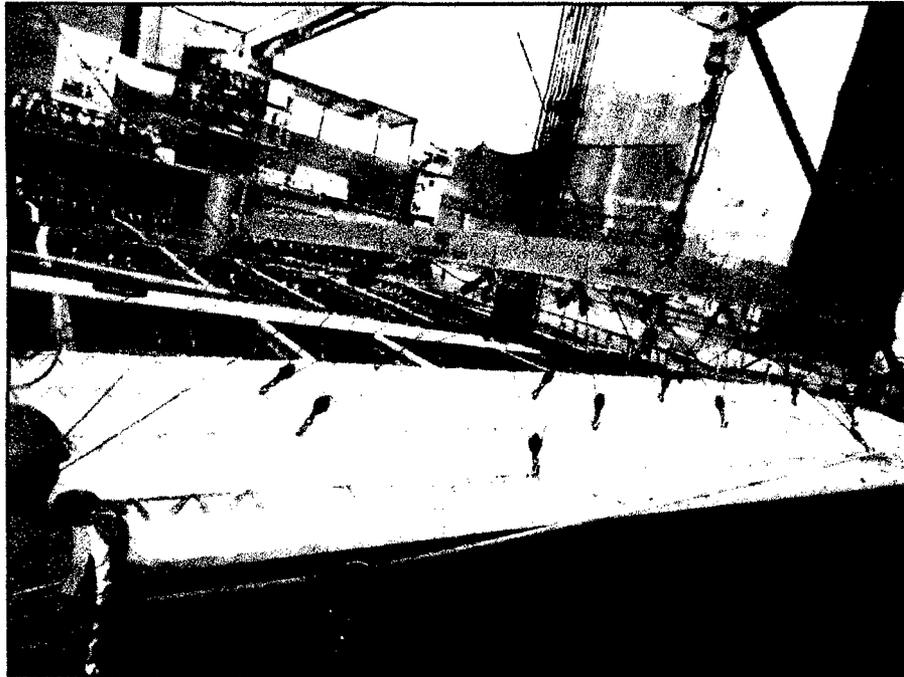


Figura 2. 1: Vista de la colocación final de prelosa

La prelosa está formada por viguetas del tipo triacero (tralicho) distanciadas entre sí a 62.5cm, embebidas parcialmente en una losa de concreto de un espesor generalmente de 5 cm, reforzado con acero según los requerimientos de la estructura. El concreto que se emplea varía de acuerdo a los planos y toma los siguientes valores de $f_c=350, 280$ y 245 kg/cm^2 . La parte inferior de la prelosa queda totalmente lisa (no requiere ningún acabado posterior), y la superficie superior se deja rugosa y estriada para mejorar la unión con el concreto de obra.

Las funciones de la vigueta son:

- Asegurar que los paneles de concreto soporten los esfuerzos durante su desmoldaje y curado, transporte a obra y posteriormente en los trabajos y vaciado de concreto en obra.
- Conectores entre el concreto de la prelosa y el vaciado en obra.
- Apoyo (distanciador) para la armadura de acero superior colocado en obra.

- Como puntos de fijación para el acarreo e izaje.

Las prelosas se fabrican con anchos máximos de 2.5 m, espesores que varían desde 4.5 cm a 7.5 cm, con recubrimientos del refuerzo que varían según requerimiento desde 2 cm a 4 cm. Son vaciadas en moldes estándares de acero al cual se le adicionan accesorios para ajustar la longitud, formas irregulares.

Los bordes longitudinales se forman con un chaflán en la parte inferior, de tal modo que colocadas las prelosas una al costado de otra (a tope) se observe una junta bien acabada.

La prelosa es diseñada, dibujada y fabricada a la medida. Cada una es codificada y puede ser ubicada en los planos suministrados los cuales incluyen una tabla de especificaciones técnicas, en la cual se indica para cada prelosa: código, cantidad por planta, ancho, largo, área, peso, acero de refuerzo longitudinal y transversal y cantidad de viguetas que trae.

2.2.2.2.- Proceso de Fabricación de Prelosas

a) Habilitación del molde

Se eliminan todo tipo de partículas adheridas al molde de trabajo.

Adicionalmente se le aplica al molde una capa de desmoldante alrededor de toda la superficie.

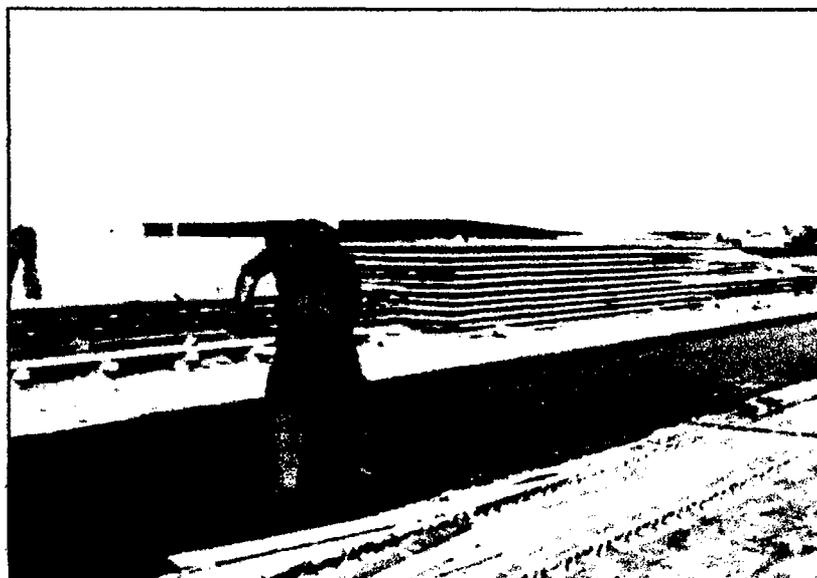


Figura 2. 2: Colocación de desmoldante para vaciado de prelosa

b) Trazado y encofrado de la prelosa

Con la aprobación del plano de prelosas se procede a marcar en el molde de trabajo, la longitud y el ancho de las mismas. Una vez dimensionada se encofra el borde longitudinal y el transversal.

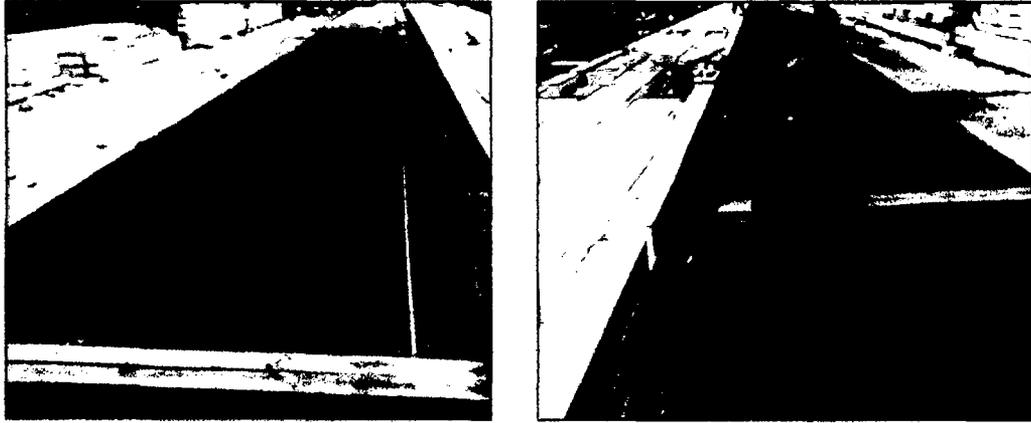


Figura 2. 3: Trazado de dimensiones de prelosa

c) Instalación del acero

Con la prelosa ya dimensionada en el molde de trabajo se procede a habilitar el acero correspondiente a la especificación de cada plano.

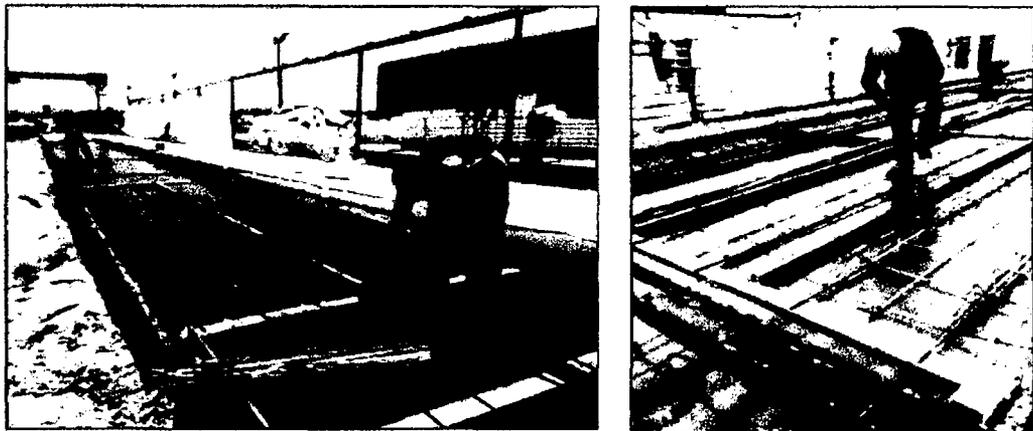


Figura 2. 4: Instalación de aceros en la "galleta" de prelosa

d) Colocación de separadores

Contando ya con la malla de acero instalada en el molde de trabajo, se procede a iniciar con la colocación de los separadores que sirven para darle el recubrimiento adecuado al acero.

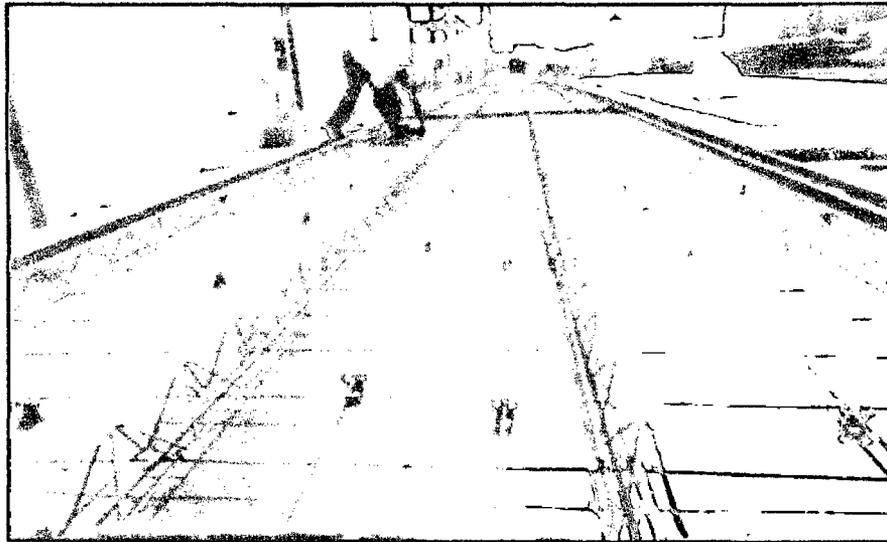


Figura 2. 5: Colocación de separadores que garantizan el recubrimiento del acero

e) Vaciado

Estando colocados los separadores se procede a vaciar el concreto. Para la prelosa maciza se dará la rugosidad a la cara superior, y en caso de ser ligera se coloca el casetón de poliestireno.

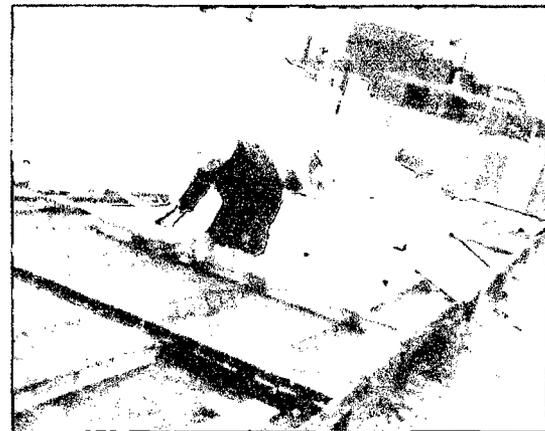
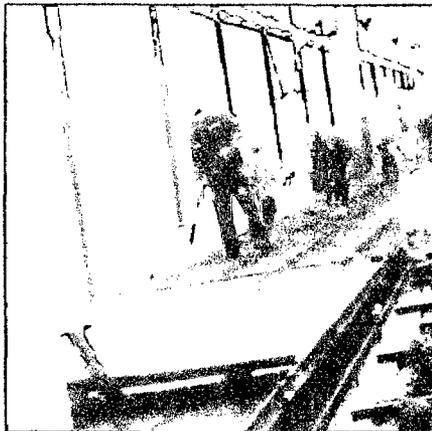


Figura 2. 6: Vaciado de la "galleta" de la prelosa

f) Desmoldaje

Con la prelosa ya fraguada y con la ayuda de una viga de izaje se procede a ubicar en la prelosa los puntos para engancharla y así desencofrar la prelosa del molde de trabajo.



Figura 2. 7: Desmoldaje de prelosa

g) Apilado

Las prelosas se apilan en la zona de almacenamiento. Prelosas macizas se apilan con ayuda de tacos de madera y las prelosas ligeras se apilan unas sobre otras.

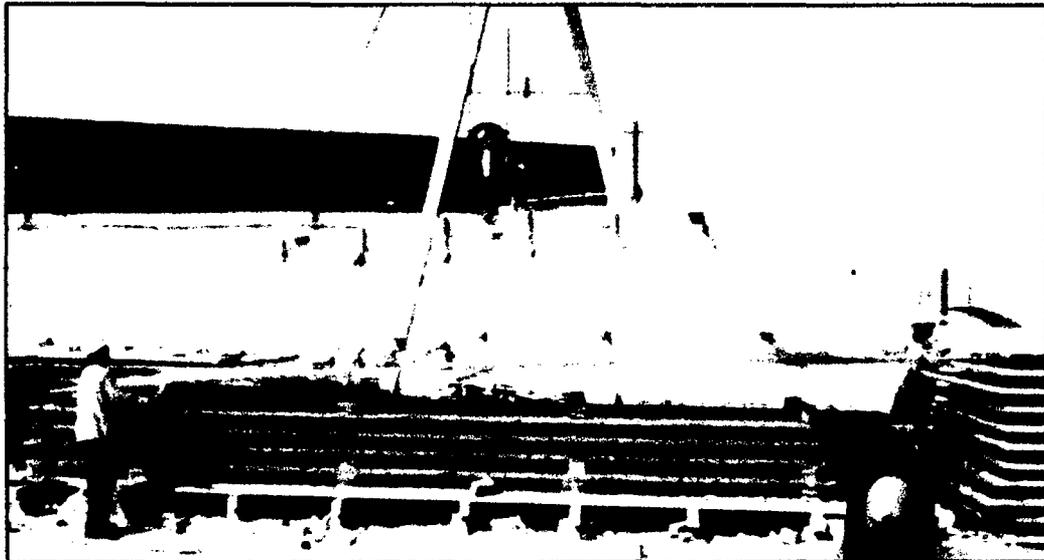


Figura 2. 8: Almacenamiento o apilado de prelosa

h) Curado

Estando las prelosas en la zona de almacén se inicia el proceso de curado que dura 7 días. Este se realiza a base de agua.

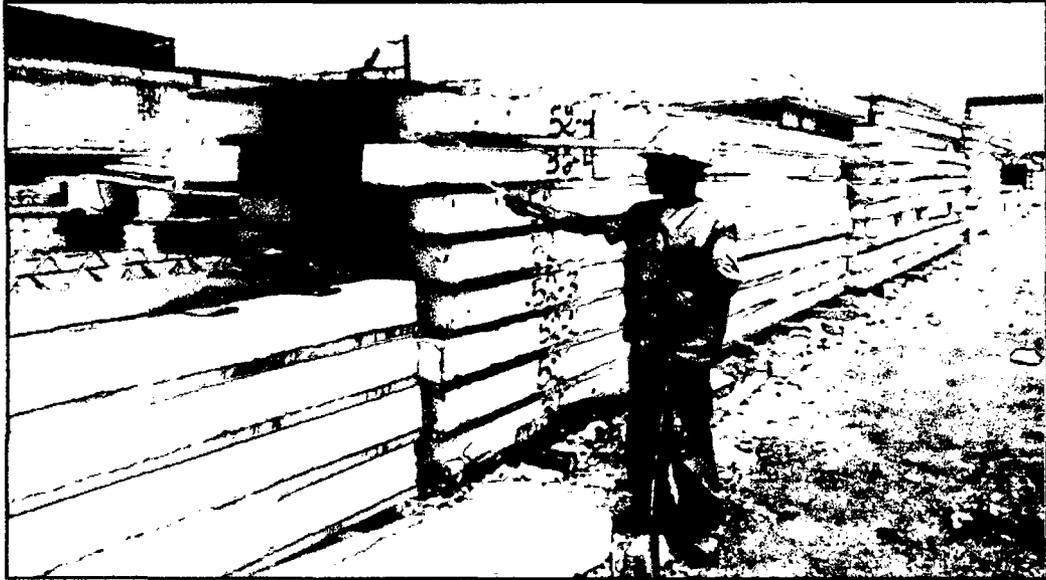


Figura 2. 9: Curado de prelosa

i) Cargado

Pasando el proceso de curado, se procede a movilizar las prelosas a un camión. Estas deberán estar bien niveladas para evitar fisuras o rajaduras en el trayecto.

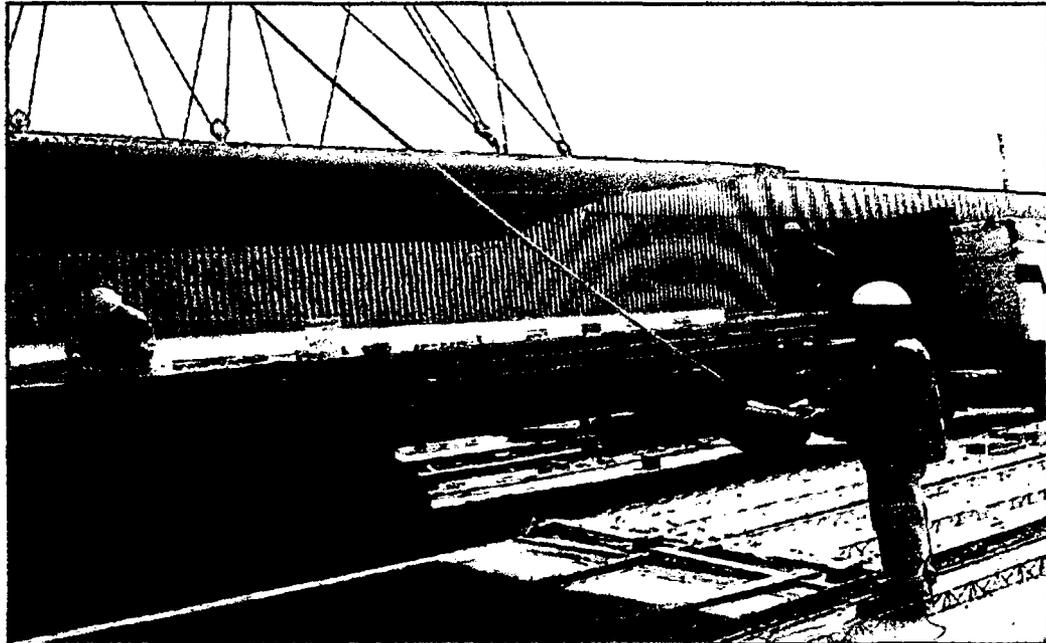


Figura 2. 10: Izaje o cargado de prelosa a camión

2.2.2.3.- Consideraciones en el uso de Prelosas

a.- Carguío de Prelosas

- Asegurar una buena coordinación de despacho (productos a enviar, áreas, fecha y hora de llegada, etc.).
- Seleccionar el tamaño de camión adecuado para el área de prelosa a enviar.
- Verificar que los documentos del transporte y transportista estén al día (licencia de conducir, SOAT, DNI, revisión técnica, tarjeta de propiedad, etc.).
- Verificar el estado y condiciones de la prelosas que se cargarán en el transporte (rebabas, mechas, ductos, etc.).
- Hacer una base adecuada para recibir la torre de prelosas, en esta debe de controlarse: listones de madera de 4" x 4" en buen estado y distanciados a:
Para prelosas macizas: $L_{max} = 2.20 \text{ m}$
Para prelosas aligeradas: $L_{max} = 1.00 \text{ m}$
Estos listones deben ser paralelos y con superficies superiores bien niveladas.

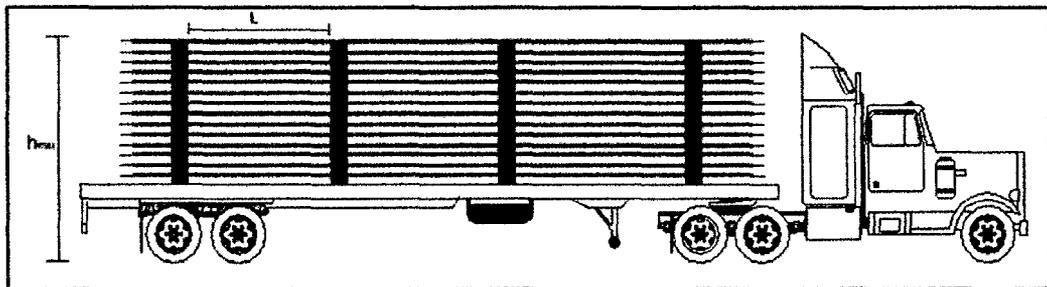


Figura 2. 11: Esquema de carguío de prelosas en el camión.

- Las prelosas intermedias van apoyadas sobre tacos de madera de 4" x 4" x 20 cm alineados con los listones de base, usando 3 tacos por cada nivel – listón.
- Revisar la nivelación de los tacos de madera y ajustar con suplementos de madera (laminas de triplay).

- Verificar pesos, niveles y alturas máximas de cargado:

Máxima carga neta: 30 Ton.

Niveles máximos de prelosas:

Prelosa maciza: 14 niveles

Prelosa aligerada: 12 niveles

- Revisar los datos de la guía de remisión

Nombre y datos del cliente destinatario.

Datos del transportista.

Dirección de la obra.

Códigos, cantidades, tipo y área de las prelosas.

b.- Izaje de Prelosas

- Se necesitará el siguiente personal:

En el camión: 1 rigger y 1 ayudante

En la zona de colocación: 1 rigger, 1 oficial y 2 ayudantes

- Equipos y herramientas: Radio, tubo de ½" para el doblado de mechas y plano de prelosas.

- Cuando el transporte esté en obra verificar la codificación de las prelosas con el plano de éstas.

- Revisar la viga de izaje con los respectivos ganchos de seguridad, y cable de estrobo flexible.

- Ubicar las zonas de enganche en los tralichos de la prelosa, según su longitud: Para prelosas con longitudes hasta 4.00 m. utilizar estrobos de 4 puntos de enganche los cuales se deben distribuir de manera equidistante en la longitud L_e , siendo $L_e = 60$ cm.

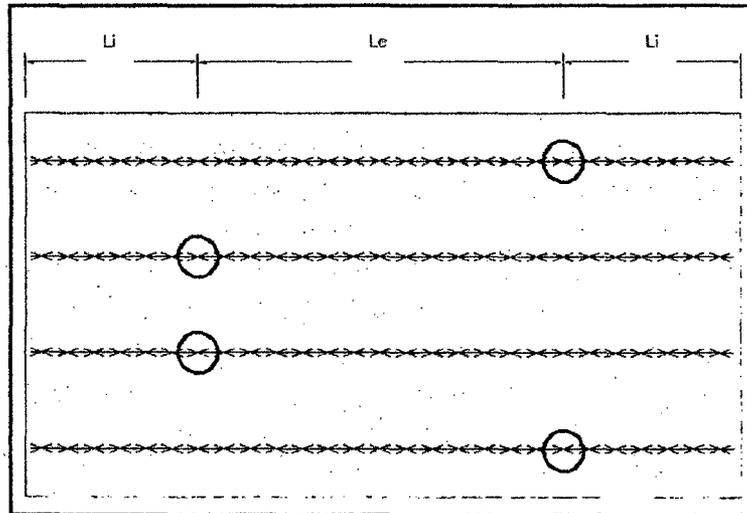


Figura 2. 12: Esquema de puntos de izaje para prelasas de hasta 4.00 m de longitud

Para prelasas con longitudes entre 4.00 m y 6.50 m utilizar una viga de izaje con 10 puntos de enganche, los cuales se deben distribuir de manera equidistante en la longitud L_e , siendo $L_i = 60$ cm.

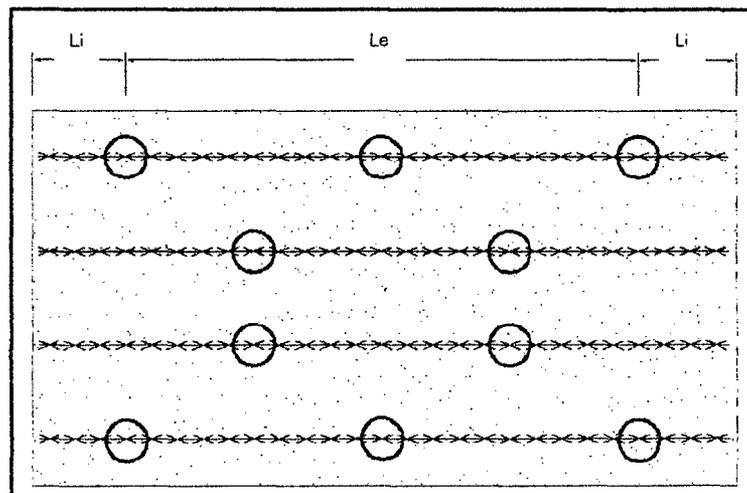


Figura 2. 13: Esquema de puntos de izaje para prelasas de 4.00 m a 6.50 m de longitud

Para prelasas con longitudes mayores a 6.50 m. utilizar una viga de izaje con 16 puntos de enganche, los cuales se deben distribuir de manera equidistante en la longitud L_e , siendo $L_i = 80$ cm.

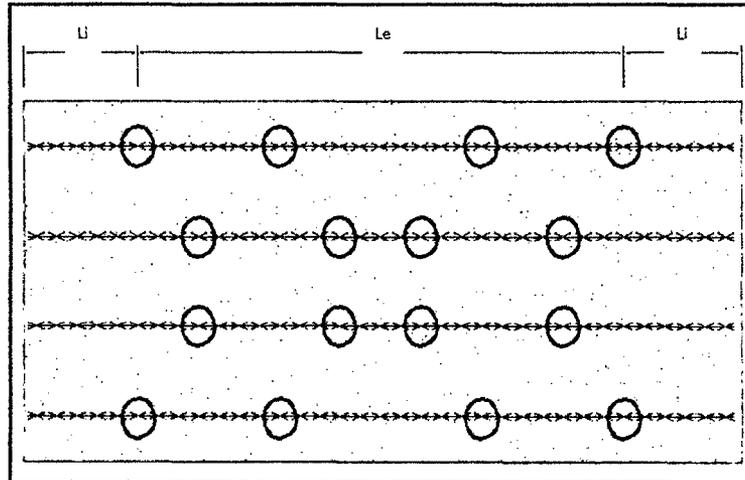


Figura 2. 14: Esquema de puntos de izaje para prelosas de más de 6.50 m de longitud

c.- Apuntalamiento de Prelosas

- Se verificará que las vigas soleras estén en buen estado, paralelas, bien niveladas, distanciadas correctamente y con un adecuado apuntalamiento.
- Las soleras deberán estar libres de cualquier tipo de elementos como clavos, alambres u otros residuos.
- El sistema de soleras y puntales deberá ser capaz de soportar las cargas que producen la prelosa, el concreto vaciado en obra, el personal y los equipos.
- El apuntalamiento deberá estar colocado en la zona donde se instalarán las prelosas un día antes o el mismo día que lleguen las prelosas a obra.
- Las vigas de soporte deberán estar distanciadas a: $L_s = 1.50$ m.

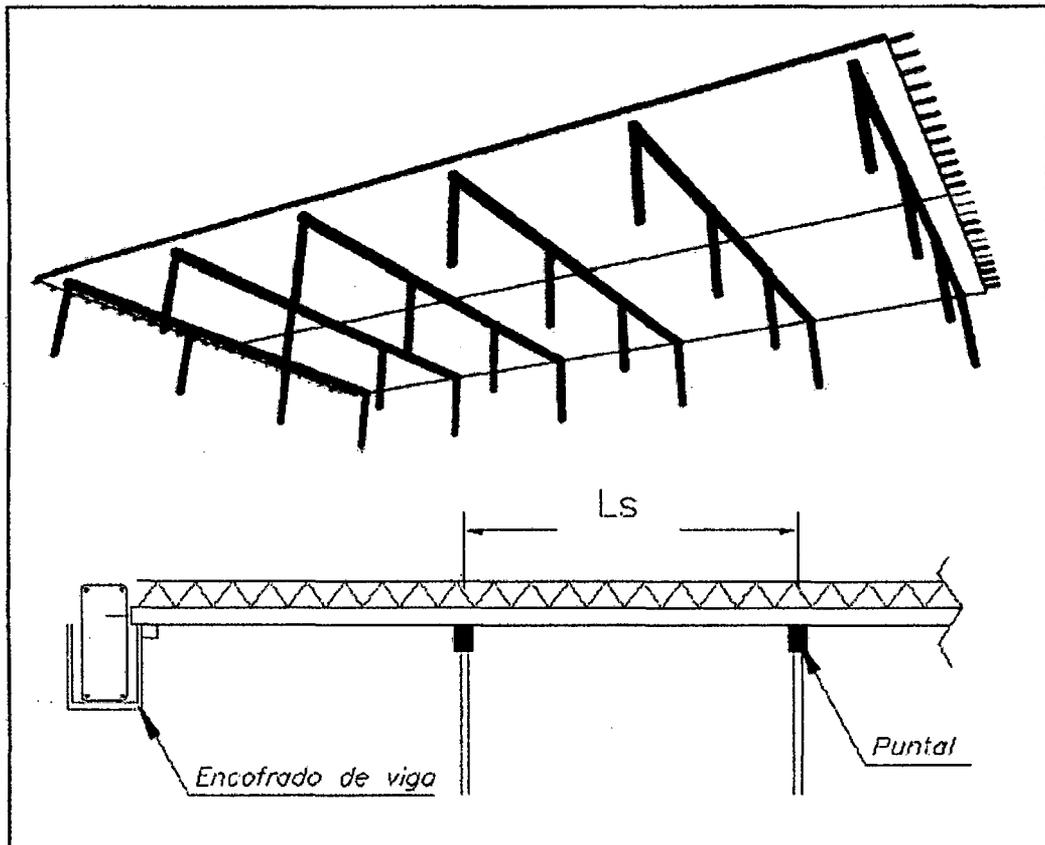


Figura 2. 15: Esquema de la separación entre viguetas soleras

- Los puntales se podrán retirar una vez que el concreto vaciado en obra sobre las prelosas, haya alcanzado 80% de su resistencia (aproximadamente 7 días)

d.- Instalación de Prelosas desde el camión hasta su ubicación final

- Se necesitará el siguiente personal:

En el camión: 1 rigger y 1 ayudante.

En la zona de colocación: 1 rigger, 1 oficial y 2 (ó 3) ayudantes.

- El personal deberá estar equipado con sus respectivos EPP's, y herramientas manuales: wincha de medir, barreta grande, barretillas, etc.).

- Verificar el adecuado apuntalamiento que va a soportar el tablero de prelosas.

- Antes de izar la prelosa desde el camión se deberán doblar las mechas de sólo un lado de la siguiente manera:

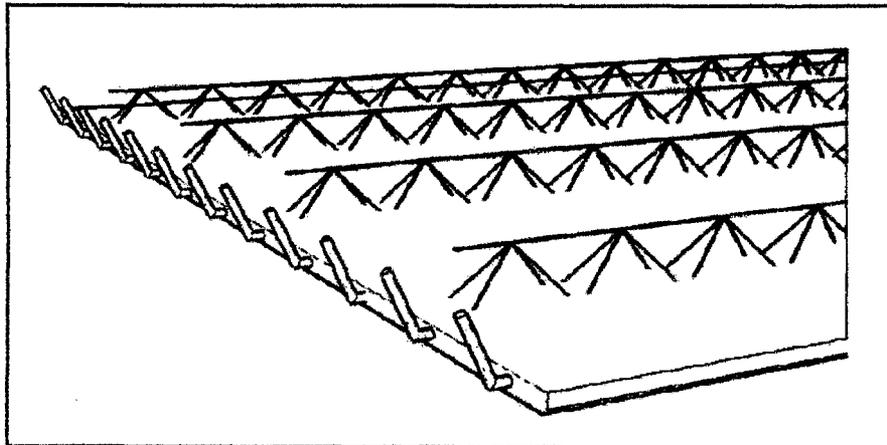


Figura 2. 16: Doblado de aceros a un extremo de la prelosa

- Levantar la prelosa lentamente hasta una primera posición a $\frac{1}{2}$ m de altura, revisar el adecuado enganche, las lengüetas de seguridad, la posición horizontal.
- Transportar con la grúa a la posición final, verificar la no interferencia con las armaduras verticales, evitar la exposición de personal debajo de la prelosa, llevarla hasta la zona de colocación y descenderla lentamente.
- Verificar que la zona de colocación esté solo el personal de montaje.
- Orientar la prelosa correctamente. Usar el código como referencia, este debe de estar marcado según el plano (viendo el plano, si una prelosa está orientada en "x" el código está a la izquierda, si está orientada en "y" el código esta hacia arriba.
- Inclinarse la prelosa aproximadamente 15° , acercando primero el lado de la prelosa que tiene las mechas rectas (no dobladas) e introducirlas en la viga ya armada.

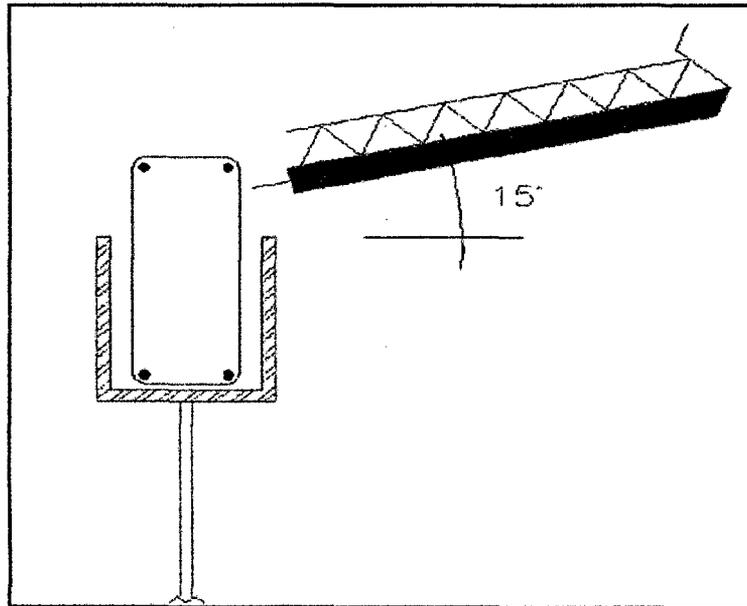


Figura 2. 17: Colocación inclinada de prelosa en el primer extremo de colocación

- Ubicar la prelosa empotrando 1.5 cm del concreto de la prelosa en la sección de la viga, tanto en las partes frontales como en las partes laterales, según sea el caso.

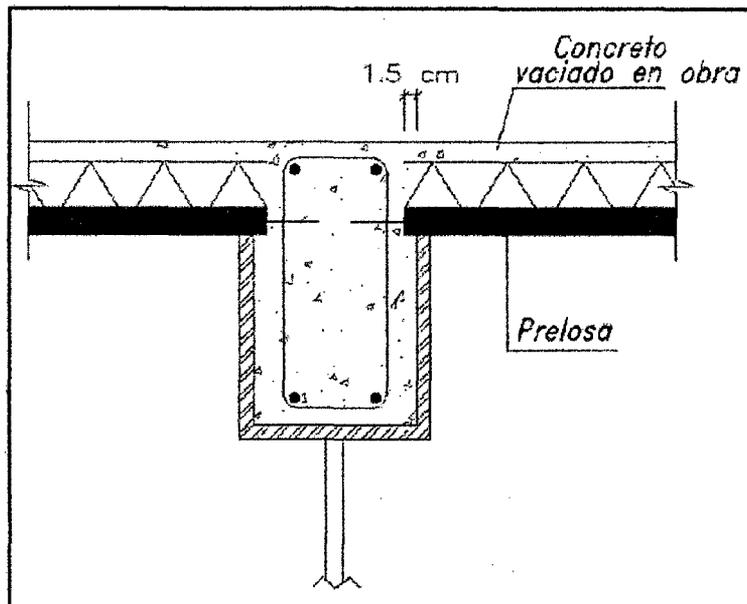


Figura 2. 18: Colocación de prelosa empotrada a viga

- Juntar la prelosa a la(s) prelosas adyacentes evitando vacíos entre éstas.
- Verificar que la prelosa esté nivelada de manera correcta sobre las soleras.

- Una vez colocada la prelosa regresar a su posición original las mechas dobladas, utilizando una barreta.
- Colocar el acero transversal de la losa según indicado el plano, a 5 mm encima de la prelosa.

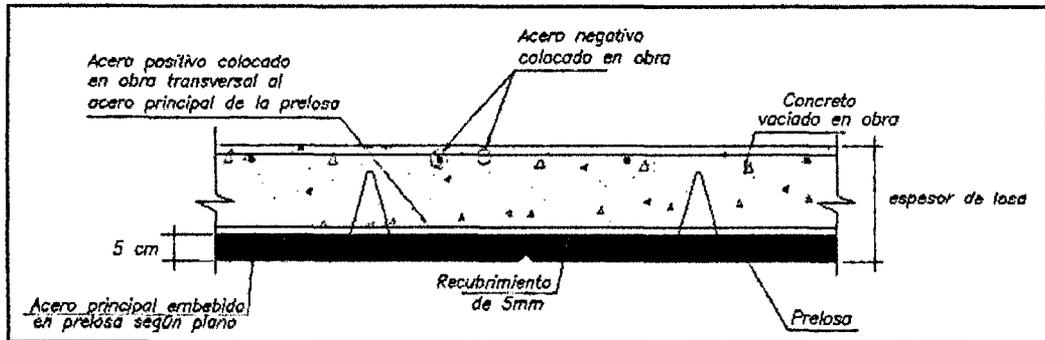


Figura 2. 19: Corte transversal de prelosa

- Trazar la ubicación de cajas octogonales, y otros objetos sobre la prelosa, y perforar la ubicación con herramientas o equipos. Tiempos recomendados.
- Tiempos recomendados por el proveedor de prelosas

Cuadro 2. 1: Tiempos de ciclos de colocación de prelosas

	Longitud de Prelosa	
	≤ 4 m	> 4 m
Personal requerido	3	3-4
Tiempo de ciclo (minutos)	8-9	8-12
Enganche en camión	1.5	2.5
Viaje a zona de colocación	1.5	1.5
Colocación	5	6
Viaje de retorno a camión	1	1

Fuente: Manual de instalación de Prelosas de Entrepisos Lima

e.- Almacenamiento de prelosas en obra

Es preferible que las prelosas se transfieran directamente del camión al paño determinado, para evitar pérdida de productividad (perdida de horas hombre, grúa, espacio de almacenamiento) y deterioro de las prelosas.

Si es sumamente necesario almacenar prelosas en obra, se deben cumplir estas condiciones para afectar su estado.

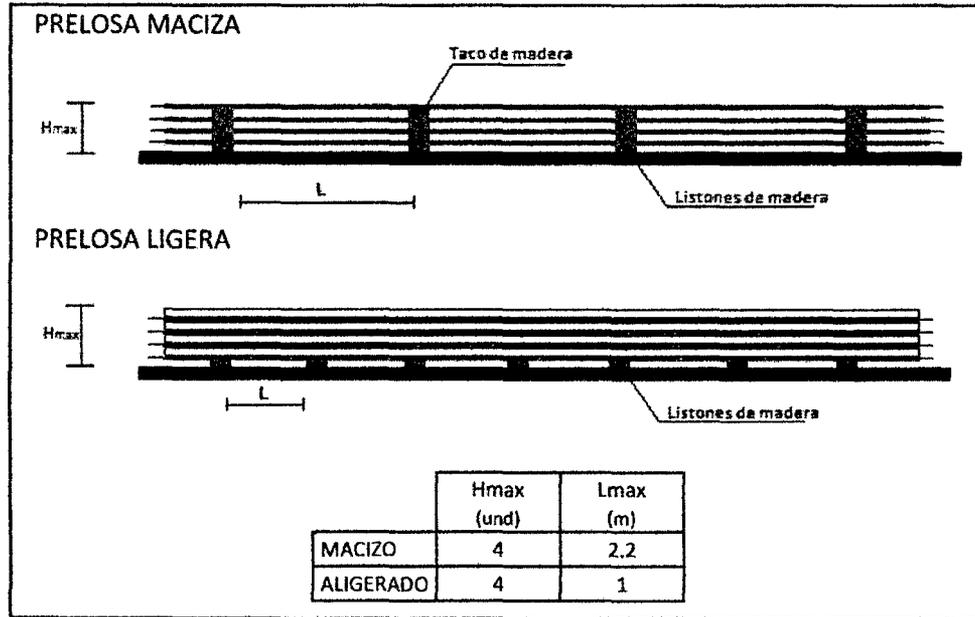


Figura 2. 20: Esquema de colocación de tacos elevación

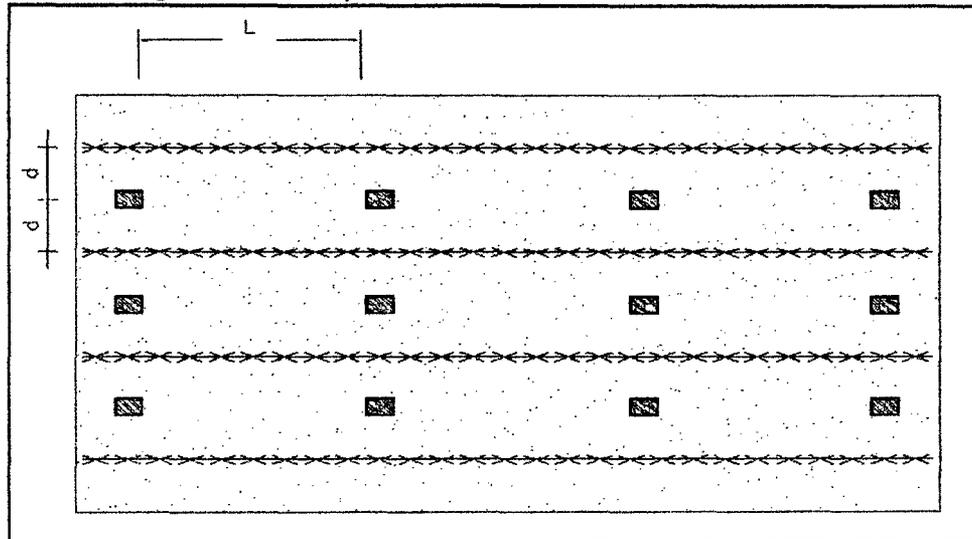


Figura 2. 21: Esquema de colocación de tacos en planta

- No se debe apilar más de 4 prelosas en un paquete.
- Se debe utilizar listones de madera de 4" x 4" x 2.50 m. como cama de base.

- Para apoyar entre prelosas usar tacos de madera de iguales dimensiones separados por la distancia "L". Esto sólo se aplica en las prelosas macizas, no en las aligeradas.

- Se debe verificar la nivelación de los puntos en donde la prelosa se va apoyar.

-El almacenamiento incorrecto de las prelosas en la obra puede provocar fisuras y/o roturas en ellas.

2.2.2.4.- Tipos de Losas Prefabricadas

a.- Prelosa de Concreto para Losas Macizas

Las prelosas tienen un espesor de 5cm, al interior cuenta con una malla inferior del diseño de la losa maciza y un tralicho embebido a la prelosa que va soldado a la malla inferior. El concreto a vaciar sobre la prelosa es del espesor requerido total, menos estos 5 cm.

Las prelosas macizas reúnen las ventajas de la construcción prefabricada (uniformidad, reducción de tiempos y costos) con las ventajas de la construcción convencional en el sentido de obtener estructuras monolíticas. Estructuralmente el techo terminado es equivalente al convencional.

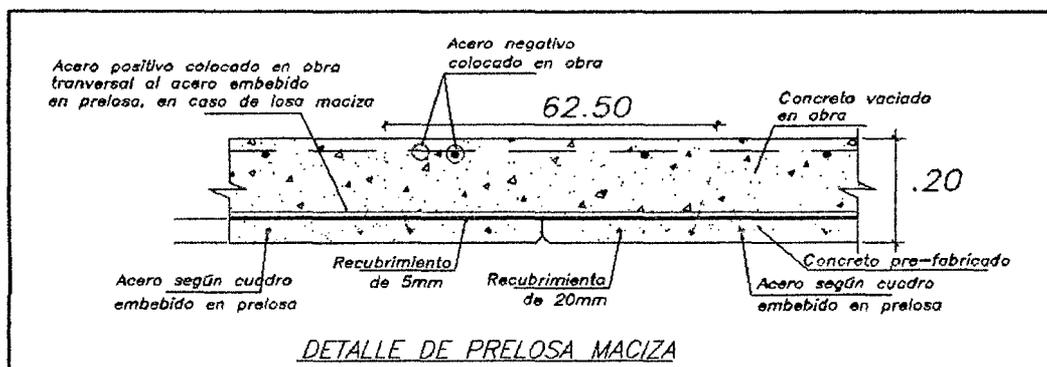


Figura 2. 22: Detalle de losa maciza con el uso de prelosa

b.- Prelosa de Concreto para Losas Aligeradas

Las prelosas aligeradas tienen un espesor de 4.5 cm, con un casetón de poliestireno expandido que podría ser de 16 cm colocado sobre la superficie

todavía fresca de la prelosa. El concreto a vaciar sobre la prelosa es del espesor requerido. La prelosa ligera puede fabricarse en uno o doble sentido dependiendo de la necesidad de la obra.

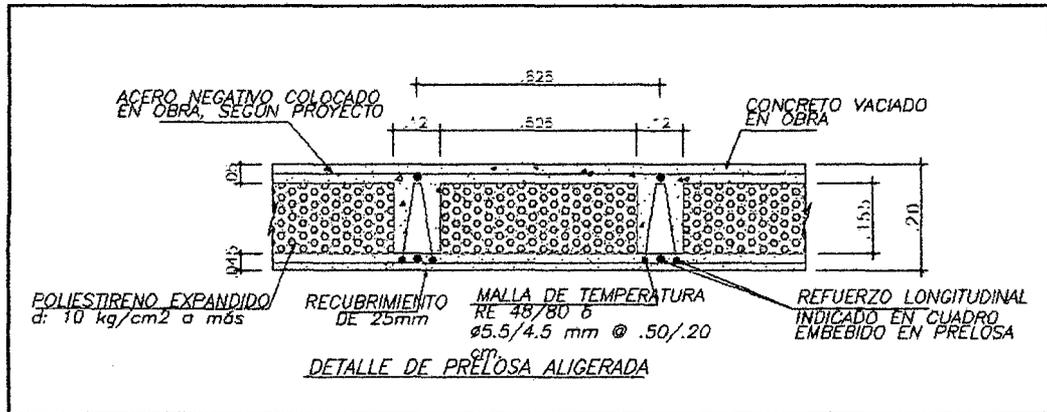


Figura 2. 23: Detalle de losa aligerada con el uso de prelosa

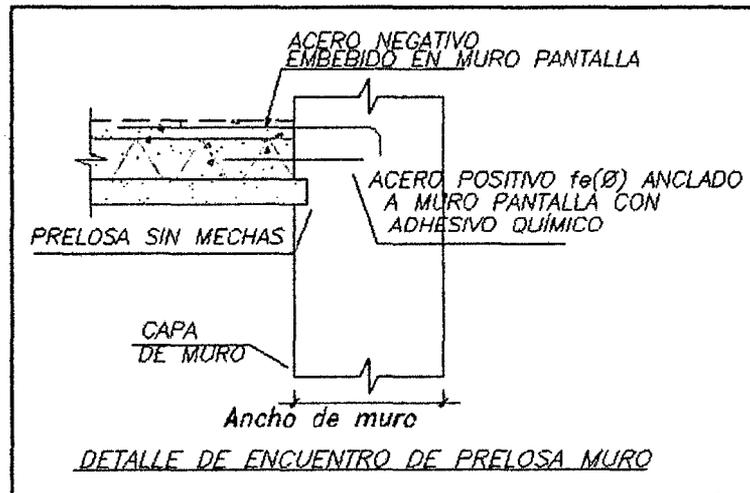


Figura 2. 24: Detalle de prelosa aligerada y encuentro con Muro pantalla

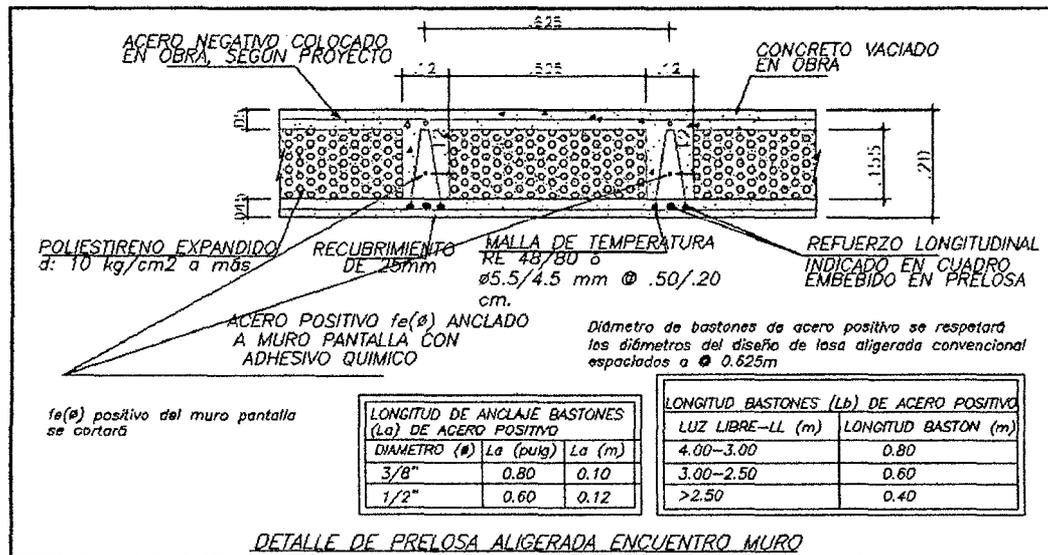


Figura 2. 25: Acero de prelosa aligerada y encuentro con Muro pantalla

2.2.2.5.- Usos en la Construcción

Se puede utilizar en cualquier losa de techo, apoyada sobre diferentes tipos de estructura (concreto, metálica y muro de carga).

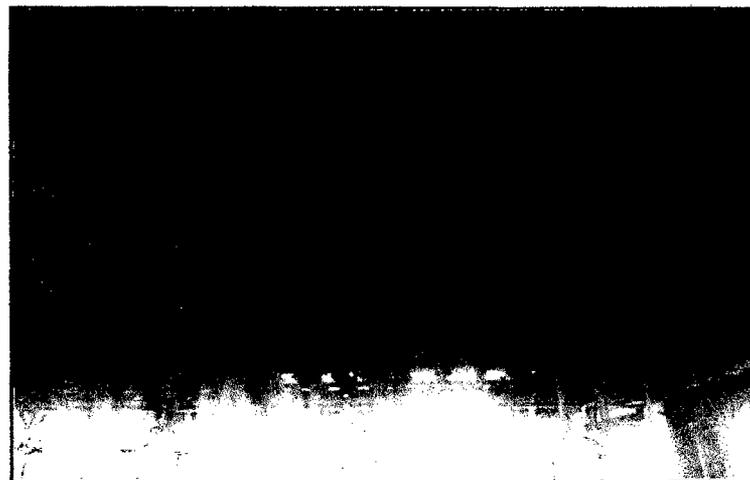


Figura 2. 26: Vista desde el inferior de una prelosa colocada

Es así que su utilización se da en la construcción de obras civiles tales como: Centros comerciales, edificios de oficinas, estacionamientos, hoteles, centros educativos (colegios, universidades, institutos), naves industriales, puentes, túneles y construcción en general.

2.2.2.6.- Proveedores de Losas Prefabricadas en el Perú

Actualmente en el Perú, solo encontramos la empresa Entrepisos Lima SAC que ofrece productos prefabricados de concreto como solución constructiva para diferentes elementos funcionales y estructurales en obras de edificación e infraestructura.

Esta empresa es especialista en la fabricación de prefabricados livianos de concreto y tiene como producto principal a la prelosa, la misma que se viene usando en el Perú desde hace más de 15 años, con comprobado éxito en la construcción de techos tanto macizos como aligerados.

Entrepisos Lima SAC fabrica las prelosas con concreto preparado por UNICON, con soluciones tanto a medida como de usos estándar, habiendo participado en los últimos años como proveedor en las principales obras de edificación nacional, cumpliendo siempre con los altos estándares exigidos por las empresas constructoras.

En el mes de marzo del año 2010 la empresa UNICON adquirió el 50% de las acciones de la empresa Entrepisos Lima S.A.C.

2.3.- Filosofía Lean Construction como Método de Mejora en la Productividad de Prelosas

2.3.1.- Lean Construction

El Lean Construction Institute (LCI) define así en su página web el término Lean Construction:

"Lean Construction es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto - una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras. La gestión de la producción Lean ha provocado una revolución en el diseño, suministro y montaje del sector industrial. Aplicado a la gestión integral de proyectos, desde su diseño hasta su entrega, Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. Lean

Construction se extiende desde los objetivos de un sistema de producción ajustada - maximizar el valor y minimizar los desperdicios - hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto. Como resultado:

- La edificación o infraestructura y su entrega son diseñadas juntas para mostrar y apoyar mejor los propósitos de los clientes.
- El trabajo se estructura en todo el proceso, a fin de maximizar el valor y reducir los desperdicios a nivel de ejecución de los proyectos.
- Los esfuerzos para gestionar y mejorar el rendimiento están destinados a mejorar el rendimiento total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costes o el aumento de la velocidad de una actividad aislada.
- El control se redefine, como pasar de “monitorizar los resultados” a “hacer que las cosas sucedan”. Los rendimientos de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoran.
- La notificación fiable del trabajo entre especialistas en diseño, suministro y montaje o ejecución, asegura que se entregue valor al cliente y se reduzcan los desperdicios. Lean Construction es especialmente útil en proyectos complejos, inciertos y de alta velocidad. Se cuestiona la creencia de que siempre debe haber una relación entre el tiempo, el coste y la calidad (mayor calidad y mayor velocidad no tiene por qué implicar mayor coste”).

2.3.2.- Beneficios que aporta la implantación de Lean Construction

Un informe sobre el estado de Lean en la Construcción en EE. UU. (2012) y otro informe más reciente de McGraw Hill Construction (2013) sobre la aplicación de Lean Construction en proyectos de edificación, revelan que en aquellas empresas que ya han utilizado prácticas Lean, entre el 70% y el 85% han alcanzado un nivel alto o medio sobre una amplia variedad de beneficios, entre los que se incluyen como resumen los indicados en la siguiente tabla:

Cuadro 2. 2: Cuadro informativo del estado de Lean Construction en los años 2012 y 2013

Informe sobre el estado de Lean en la construcción en EE. UU. (2012)	Informe de McGraw Hill Construction sobre la aplicación de Lean Construction (2013)
Mejor cumplimiento del presupuesto.	Mayor calidad en la construcción.
Menor número de cambio de órdenes y pedidos.	Mayor satisfacción del cliente.
Rendimiento más alto de entregas a tiempo.	Mayor productividad.
Menor número de accidentes.	Mejora de la seguridad.
Menor número de demandas y reclamaciones.	Reducción de los plazos de entrega.
Mayor entrega de valor al cliente.	Mayor beneficio y reducción de costes.
Mayor grado de colaboración.	Mejor gestión del riesgo.

Fuente: Introducción a Lean Construction, Juan Felipe Pons Achell 2014

Según el informe de McGraw Hill Construction, algunos casos de estudio también revelan beneficios específicos de la implantación de Lean Construction:

- Un estudio del flujo de valor de la empresa Rosendin Electric, costó 2.000 \$ pero ahorró a la empresa 50.000 \$ en coste de personal.
- Una coordinación activa de la empresa Boldt Construction en la instalación de paredes cabeceras prefabricadas en un Hospital redujo el número de horas/hombre por elemento instalado en más de dos tercios, de 24 a 7.

2.3.3.- Problemas de los Sistemas Tradicionales ¿Cómo ataca Lean estos problemas?

Los sistemas tradicionales se enfocan principalmente en producir el producto. Para ello, se divide el alcance del proyecto en partes pequeñas y manejables (usando el EDT) y se planea con mucho detalle generando cronogramas muy grandes. Si hago cada tarea de manera eficiente, lograré la eficiencia del todo. El nivel de detalle debe ser alto para que el control sea eficaz y permita corregir mejor las desviaciones. Esto se conoce como task management.

Principales problemas:

- El ejecutor no participa en la elaboración del plan. Además de no tener el mejor plan posible, lo que termina ocurriendo es que en campo se empieza a hacer otra cosa distinta a lo que dice el plan, el cual queda rápidamente

desactualizado. Sin un plan actualizado, se pierde la base para el control del proyecto.

- En adición a lo anterior, la necesidad de tener un plan muy detallado aumenta las posibilidades de error y la dificultad de mantener el plan actualizado.

- No considera mecanismos formales de coordinación, se asume que las tareas se van a dar una a continuación de otra y que los recursos necesarios van a ser conseguidos de alguna forma.

- Los planeamientos no reconocen formalmente la variabilidad ni incorporan principios de física de producción.

El escenario descrito genera un flujo de trabajo interrumpido constantemente por imprevistos, con un plan de trabajo desactualizado y en el que se termina haciendo lo que se puede, con lo que se tiene. Éstas son las principales causas de la improductividad mencionada en el punto anterior.

Lean complementa la visión tradicional al enfocar la producción como algo más que una gestión de tareas. Estos enfoques adicionales se resumen en su misión de entregar proyectos en los que se maximice el valor y se minimice el desperdicio:

- **Maximizar el valor:**

Para ello es necesario entender la producción como un medio para cumplir con las necesidades del cliente, tanto del contratante como del usuario final. Valor es todo lo que ayuda a tal fin. Todo lo demás es desperdicio. Bajo este esquema, actividades productivas que no ayudan al Cliente a lograr sus objetivos, también son desperdicio. A veces, será necesario ayudar al Cliente a descubrir el valor para su proyecto. Maximizar valor siempre tiene mayor impacto que minimizar el desperdicio (es posible construir muy eficientemente algo que no sirva bien a los usuarios finales).

- Minimizar el desperdicio:

Para ello es necesario entender la producción como un sistema compuesto por un flujo (flow) de tareas (task). Esto permite identificar que, además de las tareas productivas, existen otras tareas dentro del flujo (inspecciones, esperas, traslados, etc) que no son productivas, llamadas desperdicio. Esto se conoce como flow management.

Podemos distinguir entonces eficiencia del sistema y eficiencia de las tareas que lo componen. Debemos orientarnos a buscar la eficiencia del sistema antes que la de las tareas específicas. Un sistema con un flujo ininterrumpido pero con tareas poco eficientes es mucho mejor que un sistema con tareas muy eficientes pero que trabajan intermitentemente.

Con el uso de Last Planner se presume minimizar desperdicios en los proyectos. Sin embargo, Last Planner es sólo una parte de un esfuerzo mayor, al que se le llama Gestión de la Producción.

2.3.4.- Gestión de la Producción

Consiste en diseñar, dirigir y controlar una operación productiva. Como es natural, para gestionar la producción primero es necesario entender cómo funcionan los sistemas productivos. La Gestión de la Producción está orientada a lograr la eficiencia en la producción. Se entiende por eficiencia como la relación entre lo producido y los recursos empleados, entonces el objetivo será conseguir cada vez más productos usando cada vez menos recursos.

Partiendo de las premisas del flow management, se pueden establecer tres requisitos, listados en orden de prioridad, para lograr sistemas productivos eficientes:

1. Lograr que los flujos no se detengan.
2. Lograr que los flujos sean eficientes.

3. Lograr que los procesos sean eficientes.

Lo primero es entender la principal causa de las interrupciones en los flujos: la Variabilidad.

Variabilidad:

Es la ocurrencia imprevisible de eventos que impidan que nuestro plan se cumpla. Puede ser interna a nuestro sistema (por ejemplo, operatividad de una máquina) o externa (por ejemplo, el clima). Es inherente a la construcción. No controlarla hace que su efecto se multiplique.

Algunas características de la construcción la incrementan:

- Interdependencia: Las actividades de construcción suelen tener muchas predecesoras, lo que incrementa la posibilidad de que falle alguna
- Relación con soporte: Las actividades de construcción dependen casi siempre de actividades de soporte (por ejemplo, la logística o la generación de permisos o las inspecciones de calidad), lo que aumenta las necesidades de tener niveles de coordinación difíciles de alcanzar sin un método formal.

A continuación, se detalla cómo se usa la Gestión de la Producción para lograr los tres requisitos de la eficiencia planteados por el flow management:

2.3.4.1.- Lograr que los flujos no se detengan

Para ello hay que manejar la variabilidad, lo que a su vez se logra por medio de dos acciones:

a.- Identificarla desde el Planeamiento: Con el fin de definir estrategias para su mitigación. Dichas estrategias deben incorporarse en nuestro diseño de operación, y principalmente son:

- Uso de buffers (colchones).
- Uso de procedimientos constructivos de menor incertidumbre (p.e prefabricados).
- Mejor entendimiento de procesos (p.e. uso de tecnología 3D y 4D).
- Romper dependencias.

b.- Ejecutar Usando Last Planner: Si bien incluir las estrategias mencionadas en el plan mitigan los efectos de la variabilidad, en el día a día siempre ocurrirán cosas que ningún plan puede contemplar. Asimismo, la interdependencia y la necesidad de interactuar con las áreas de soporte obligan a tener un mecanismo de liberación de restricciones ("make ready") y de coordinación, excelente, para evitar paralizaciones e interrupciones. La idea es lograr una alta confiabilidad en la ejecución de las tareas programadas.

2.3.4.2.- Lograr que los flujos sean eficientes

Para ello debe diseñarse la operación aplicando Principios de Física de Producción, que es la ciencia que describe los movimientos de las unidades de producción a través del proceso de construcción de la obra.

Entre algunos de estos principios tenemos:

- Capacidad del sistema y cuello de botella.
- Inventarios y trabajo en procesos.
- Sistema Pull vs Sistema Push.
- Tamaño de lote.
- Balanceo de carga y capacidad.

2.3.4.3.- Lograr que los Procesos sean Eficientes

Para ello hace falta ir al campo a mirar las actividades para identificar y atacar los problemas. Muchas veces la observación simple no nos ayuda, por lo que hará falta el uso de herramientas de medición del trabajo propias de la ingeniería industrial:

- Nivel general de actividad
- Carta balance

Por ejemplo, el uso de estas herramientas debería ser el paso lógico a seguir después de revisar los Informes de Productividad, para indagar sobre el porqué de los resultados obtenidos.

En resumen, la Gestión de la Producción consiste planear diseñando una operación eficiente, que mitigue la variabilidad e incluya principios de física de producción; y en lograr que dicho plan se cumpla mediante el uso de Last Planner.

El Sistema de Gestión debe recoger todos estos conceptos e integrarlos a sus procedimientos de la siguiente forma:

a.- Planeamiento: Diseñar un sistema productivo ininterrumpido y eficiente, a través de:

- Definición de estrategias de ejecución.
- División del trabajo y gestión del alcance usando el WBS a un nivel de detalle "macro".
- Diseño del sistema productivo considerando mitigación de la Variabilidad y principios de Física de Producción.
- Identificación de la ruta crítica usando CPM.
- Identificación de factores claves de éxito

b.- Ejecución: Lograr que lo planeado se ejecute, a través de:

- Uso del Last Planner System a través de nuestra Rutina de Programación.
- Mucho detalle, para poder identificar y levantar oportunamente las restricciones

- Mecanismo formal de interacción y colaboración entre producción y soporte
- Mejora continua a través del análisis de causas de incumplimiento

c.- Control: Disponer de herramientas que nos permitan corregir las desviaciones al plan, a través de:

- Cálculo de previstos usando Valor Ganado.
- Análisis de causas de las desviaciones usando las herramientas de medición del trabajo para tomar la acción más eficaz.
- Usar esta información para tener siempre actualizado el Plan.

2.3.5.- Método del Último Planificador

2.3.5.1.- Planificación

La planificación o planeamiento es el análisis de todo el proyecto con una visión a largo plazo, con la cual se establece el esfuerzo necesario para poder cumplir con los objetivos finales del proyecto; todo esto se realiza de forma gradual.

Si bien la planificación define las acciones a seguir, durante la ejecución pueden presentarse la necesidad de cambios con respecto a lo definido originalmente, los mismos servirán de punto de partida para un nuevo análisis y una nueva planificación de ser requerido.

El cronograma de obra es la representación gráfica de la secuencia de producción y la duración de las actividades de un Proyecto. Su elaboración contemplará cambios que el Proyecto considere necesarios, respetando los hitos y alcances contractuales como suministros, permisos, licencias, etc. Para que cumpla sus objetivos como herramienta de gestión, el cronograma deberá ser desarrollado hasta el nivel de detalle que sea:

- Necesario, para identificar los recursos correspondientes, sirviendo como base para los cronogramas de recursos, y

- Suficiente, para permitir la facilidad de lectura, entendimiento y actualización.

a.- Estructura de División del Trabajo (EDT)

El EDT es el resultado del análisis del trabajo involucrado en el proyecto. Organiza y define el alcance total al subdividir el trabajo en porciones de trabajo más pequeñas y fáciles de manejar, llamados paquetes de trabajo, que pueden programarse, presupuestarse, supervisarse y controlarse.

Esta división del trabajo se realiza de manera tal, que las actividades se vean definidas en función a las necesidades del proyecto y con el detalle necesario para plasmar las estrategias de mejora a lo largo del proyecto.

Su implementación en los proyectos es muy importante debido a que con esta división se puede tener el control de cada actividad correspondiente en cada frente, esto sirve para saber cuáles son las brechas (positivas o negativas) del proyecto, y tener la capacidad de respuesta cuando se presenten desviaciones considerables.

b.- Layout del Proyecto

Parte de la planificación del proyecto, es la elaboración del layout del proyecto en el cual se identificará y definirá cada espacio físico (oficinas, comedor, servicios higiénicos, carguío de prelosas, etc.) que se va a usar a lo largo del proyecto y utilizarlo de la forma más eficiente.

c.- Sectorización del Proyecto

Consiste en dividir las actividades en sectores de similar magnitud para mejorar el control de dichas actividades, siendo cada uno de estos sectores una porción pequeña de la tarea total.

Cada sector del proyecto por lo general debe de tener un metrado aproximadamente igual (volúmenes de trabajo similares) y deberá ser tal que su ejecución se programe para un día de actividad.

d.- Tren de Actividades

Los trenes de trabajo nacen por una necesidad de crear en la planificación un secuenciamiento de actividades que logre que cada actividad esté relacionada con la otra de manera tal que se forme una relación de dependencia entre ellas. Al establecer esta dependencia, se busca convertir a todas las actividades como críticas, lo que da como resultado que las holguras en las actividades que no estén en la ruta crítica se eliminen.

Esta metodología se basa en dividir los volúmenes de trabajo en porciones pequeñas, más manejables. La programación de cada actividad se logra mediante el balance de la capacidad de las cuadrillas asignadas a cada actividad, eliminando así tiempos de espera y tiempos muertos. Entre sus características tenemos las siguientes:

- Es una programación lineal basada en lograr volúmenes de producción similares para cada día, en cada cuadrilla.
- La cantidad de trabajo "Q" que se ejecuta en cada una de las estaciones debe ser aproximadamente la misma.

En función a sus características particulares, algunos proyectos o porciones del proyecto podrán tener sus cronogramas representados por un tren de actividades. Se aplica principalmente en proyectos en los que la variabilidad es reducida y que es posible descomponer en partes equivalentes de trabajo.

2.3.5.2.- Programación

Es un análisis detallado de las actividades de ejecución con una visión a mediano y corto plazo. En este proceso se identifican y realizan las acciones necesarias para lograr la ejecución del plan de trabajo diseñado durante el planeamiento, con base en su desarrollo a un mayor detalle.

Podemos decir que la programación es el proceso mediante el cual se protege el “plan”, asegurando su cumplimiento de acuerdo a lo previsto y a las metas establecidas de plazo y costo.

Para realizar la programación de cómo se van a realizar las actividades de colocación de losas prefabricadas, es recomendable utilizar el Sistema Last Planner (Sistema del Último Planificador), con esta metodología se asegura que lo planificado se ejecute con mayor probabilidad de éxito.

Consiste en analizar la programación con mayor detalle en un horizonte de mediano a corto plazo, para lograr identificar cuáles son las restricciones que existen para que el flujo de colocación de prelosas y su izaje sea de manera oportuna.

Es importante también que durante la ejecución del proyecto se controle semana a semana el porcentaje del plan que se cumple (PPC). De esta manera, se logra mayor confiabilidad al analizar los resultados a través de la revisión de las causas de incumplimiento (CI) con el plan y la toma de decisiones, para su corrección inmediata, e ir mejorando de manera continua.

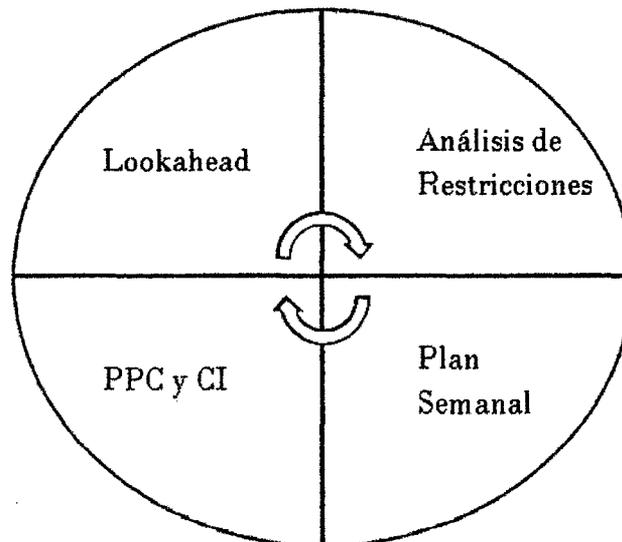


Figura 2. 277: Sistema Last Planer.

a.- Rutina de Reuniones Semanales del Proyecto

Las reuniones de programación semanal son muy importantes durante el proceso de ejecución, éstas establecerán una rutina semanal de elaboración y revisión de las herramientas de programación. Esta rutina semanal permitirá definir acciones concretas en el corto y mediano plazo, evaluar su cumplimiento y tomar acción sobre los resultados del mismo. Es decir, por medio de la Rutina de Programación se puede llevar a cabo la protección del plan.

b.- Look Ahead

Los Look Ahead son presentados y evaluados en las reuniones semanales de obra, los encargados de su elaboración son directamente los ingenieros de campo o de producción. Son mostrados con hasta un horizonte el cual es definido previamente por evaluación de las condiciones del proyecto.

c.- Análisis de Restricciones

En este proceso se analiza todas las actividades del Look Ahead de Producción, en el horizonte determinado y se identifica los posibles obstáculos o limitaciones que pudieran hacer que las actividades consideradas en este periodo no puedan ser programadas. Este análisis se realiza con la finalidad de levantar con anticipación dichas restricciones para poder ejecutar la actividad.

Para la actividad de prelosas se analizarán cuáles han sido las restricciones más relevantes que se encontraron en el proyecto, así como se presentará las soluciones que se dieron en su debido momento para levantar dichas restricciones.

2.3.5.3.- Productividad

La productividad se define como la eficiencia en el uso de los recursos. Es el resultado de un flujo productivo continuo, una buena programación, una alta confiabilidad y la optimización de los recursos utilizados en los procesos constructivos. El control de productividad es el proceso a través del cual se mide

la eficiencia de la ejecución lograda, se analiza la información y se identifican las acciones posibles para mejorarla, dentro de un proceso de mejora continua.

a.- Informe de Productividad (IP)

Con el informe de productividad controlamos la eficiencia con que se ejecutan las actividades que conforman el proyecto, comparando la eficiencia real con la eficiencia prevista en el presupuesto meta. La eficiencia se expresa como la cantidad de recursos consumidos por cada unidad de trabajo realizado.

IP de Mano de Obra:

Mide la eficiencia de una cuadrilla o equipo de trabajadores en el consumo de los recursos de mano de obra al ejecutar sus trabajos. La cantidad de recursos consumida se mide en horas hombre (HH), siendo ésta la unidad utilizada para medir la Productividad de la mano de obra. Por ejemplo, HH consumidas por kilogramo de acero colocado (HH/Kg) o en HH consumidas por metro de zanja excavada (HH/m), en el caso de la colocación de las prelasas tenemos las HH consumidas por metro cuadrado de prelasa colocada (HH/m²).

Es importante definir dos conceptos los cuales usaremos en la presente tesis y que son determinantes por las grandes empresas de nuestro sector que aplican Lean en sus proyectos:

- Ratio: es el consumo de recursos expresado por unidad de trabajo.
- Rendimiento: es la cantidad de trabajo que ejecuta una cuadrilla.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DEL USO DE LOSAS PREFABRICADAS (PRELOSAS) EN EDIFICACIÓN BAJO LA APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

3.1.- Evaluación de la Programación y Planificación del Proyecto Leuro

Nuestro estudio se basará en un edificio de 17 pisos y 8 sótanos (ver Figura) ubicado en la ciudad de Lima. A continuación mencionarán los detalles del edificio en estudio.

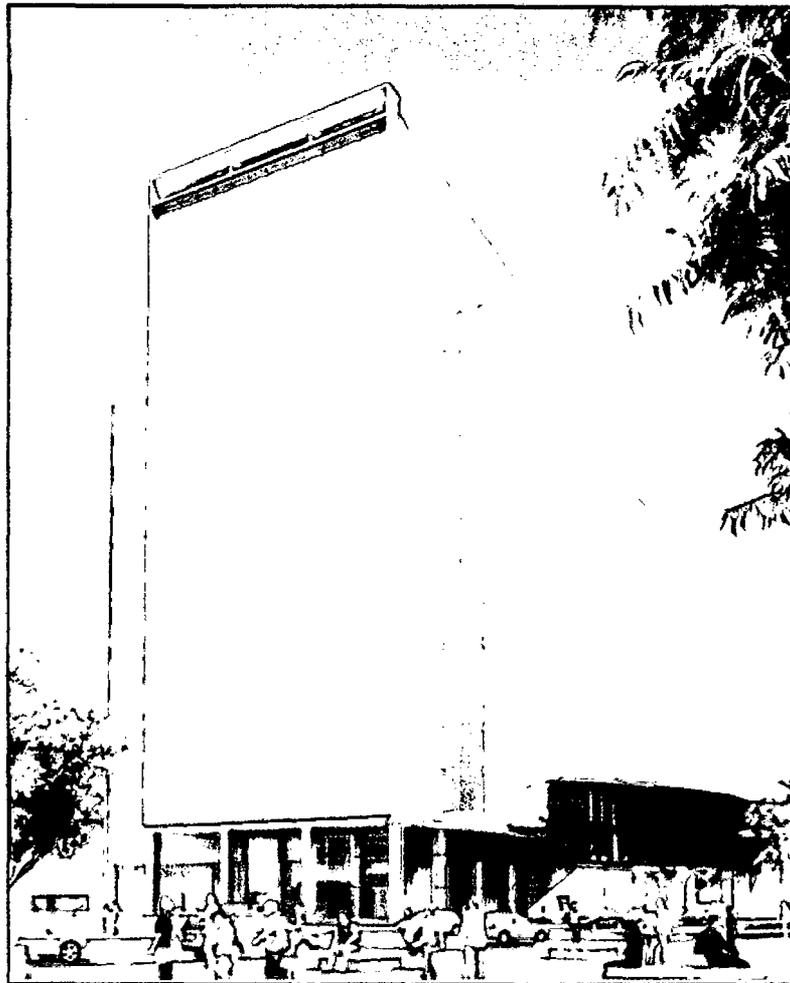


Figura 3. 1: Render del Proyecto

3.1.1.- Información General del Proyecto Leuro

El edificio en estudio se encuentra ubicado en la Av. Paseo de la República 5887, 5891, 5895, en el distrito de Miraflores (cruce con la Av. Benavides). El área del terreno es de 3,883 m² con un perímetro de 348.95 m

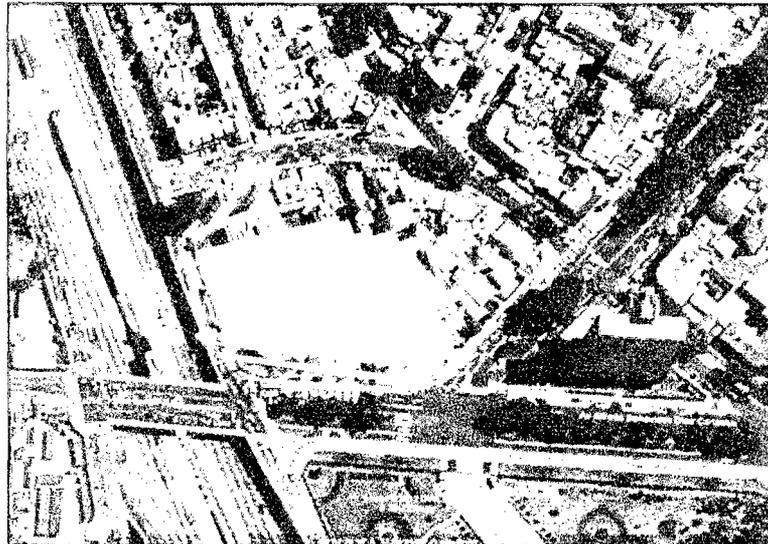


Figura 3. 2: Vista google earth con dimensiones del perímetro del terreno

El plazo de ejecución contractual para el proyecto fue de 15 meses con un costo de construcción total de S/. 70'703,703.69 + IGV.

Vistas modelado BIM:

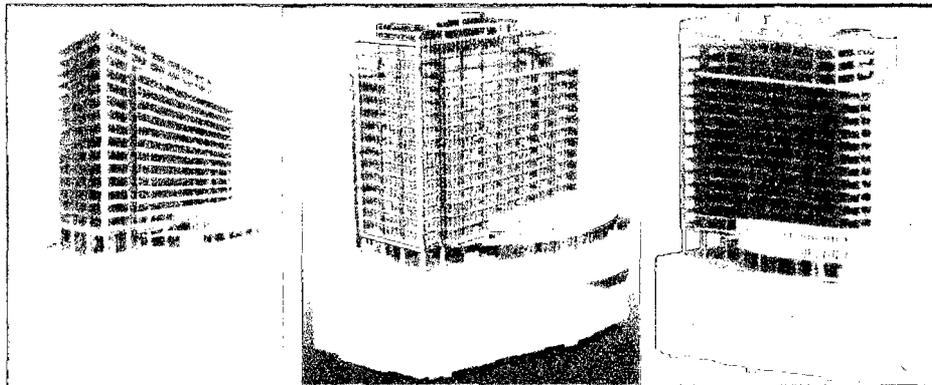


Figura 3. 3: Vistas del modelamiento BIM

Áreas techadas:

- SOTANOS:

Área techada: 29,858.40 m²

Perímetro sótanos: 3,892.23 m

- TORRE:

Área techada: 37109.7 m²

Perímetro Torre: 2,863.95 m

Área Total: 66,968.10 m²

Altura total: 68.95m

El edificio Centro Empresarial Leuro de 08 Sótanos y 17 Pisos, está destinado para el uso de oficinas, cuenta con galería – atrio, lobby, ascensores, salas de usos múltiples, terrazas y jardineras.

Arquitectura del proyecto:

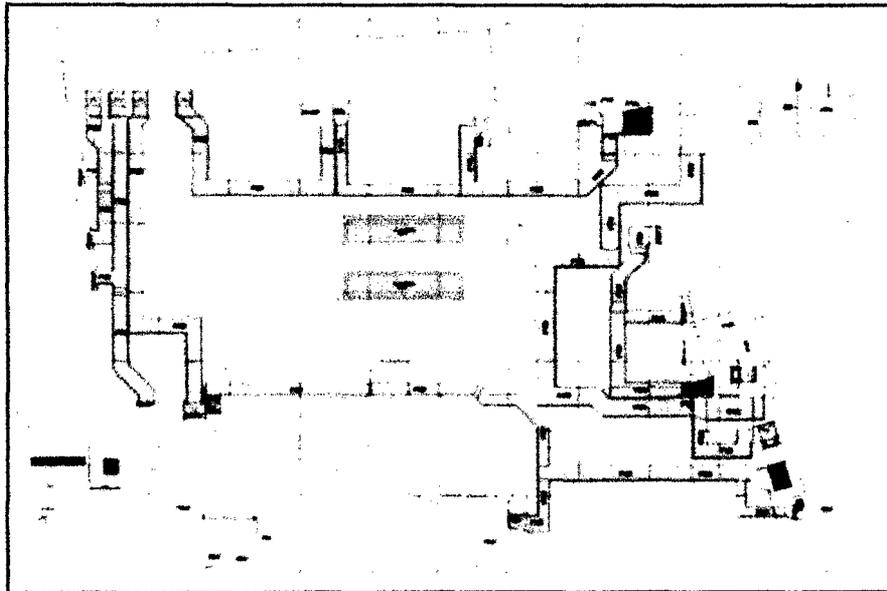


Figura 3. 4: Planta Subsuelo

Ductería enterrada



Pits ascensores



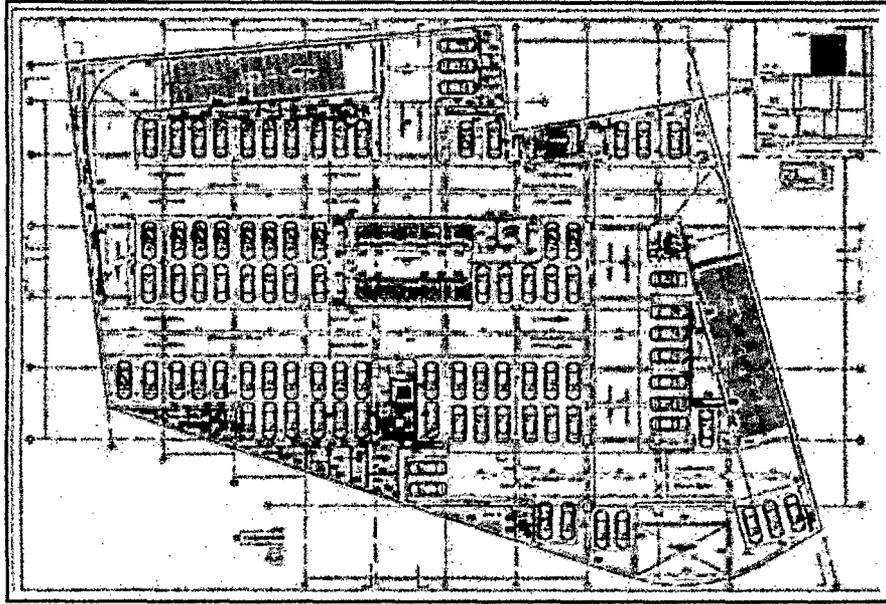


Figura 3. 5: Planta del Sótano 2

- Ascensores -----
- Baño -----
- Escaleras de escape -----
- Depósitos -----



Figura 3. 6: Planta del Piso 1 (zona comercial)

Ingresos vehiculares	-----
Ingresos peatonales	-----
Galería – Atrio	-----
Lobby Torre	-----
Ascensores (pisos altos, bajos, comercial y servicio)	-----
Tienda 1	-----
Tienda 2	-----
Escaleras y zona de escape	-----
Jardinera	-----

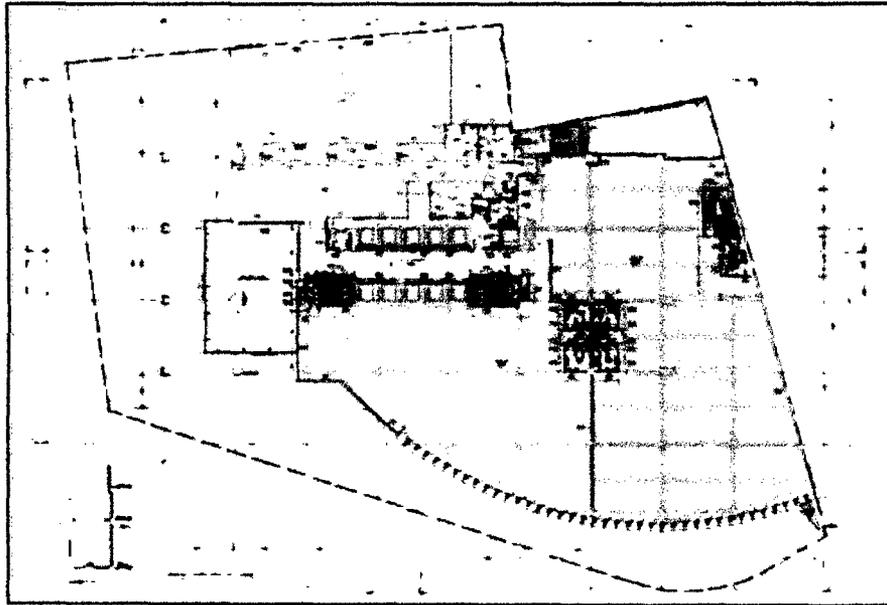


Figura 3. 7: Planta del Piso 2

Lobby Torre

Ascensores (pisos altos, bajos, comercial y servicio)

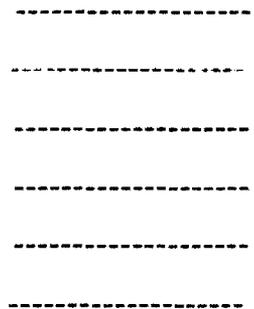
Zona de Salas de Usos Múltiples

Oficina 1

Oficina 2

Escaleras y zona de escape

Batería de baños



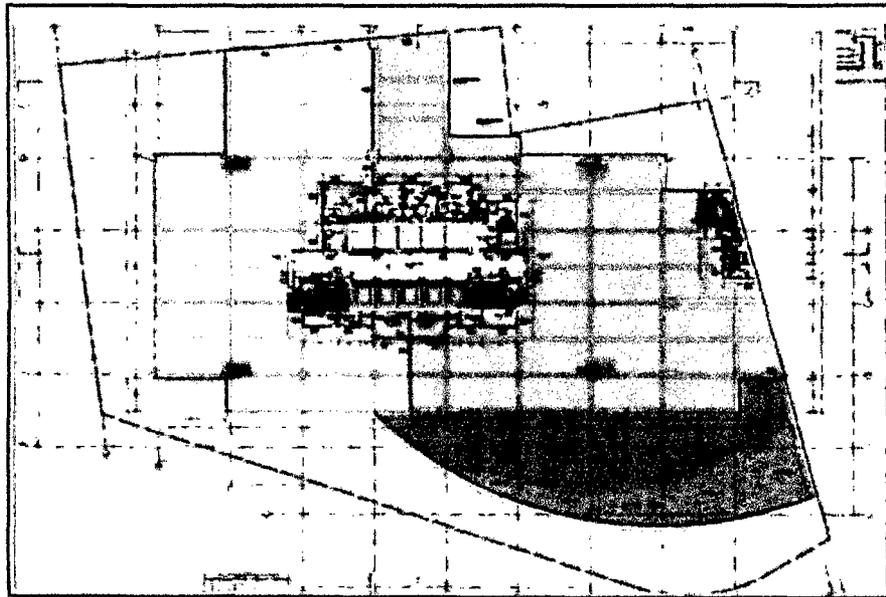


Figura 3. 8: Planta del Piso 4

Lobby Torre
Ascensores (pisos altos, bajos, comercial y servicio)	-----
Zona de Salas de Usos Múltiples	-----
Oficina 1	-----
Oficina 2	-----
Escaleras y zona de escape	-----
Batería de baños	-----
Terraza	-----
Jardinera	-----

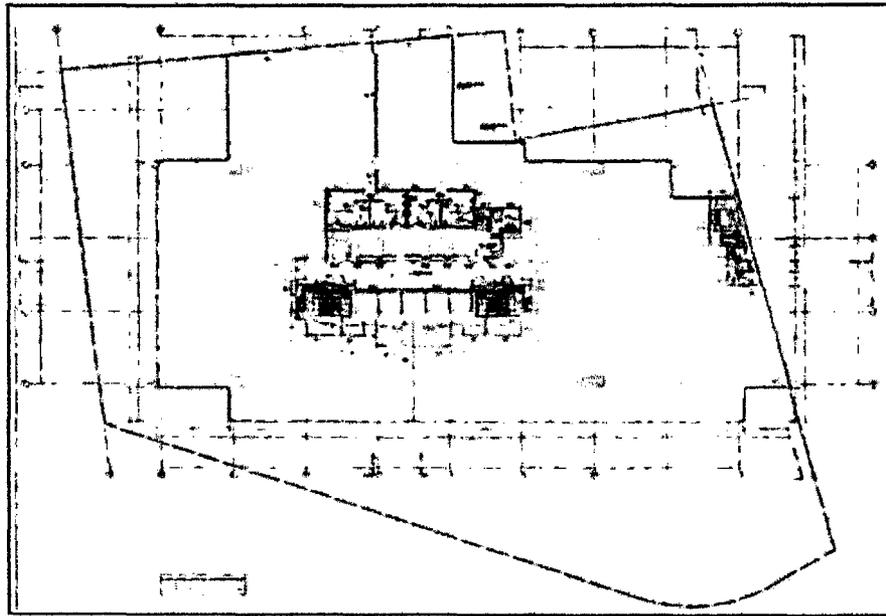


Figura 3. 9: Piso semi típico 5 – 11 (Ascensores)

Lobby Torre	-----
Ascensores (pisos altos, bajos, comercial y servicio)	-----
Zona de Salas de Usos Múltiples	-----
Oficina 1	-----
Oficina 2	-----
Escaleras y zona de escape	-----
Batería de baños	-----

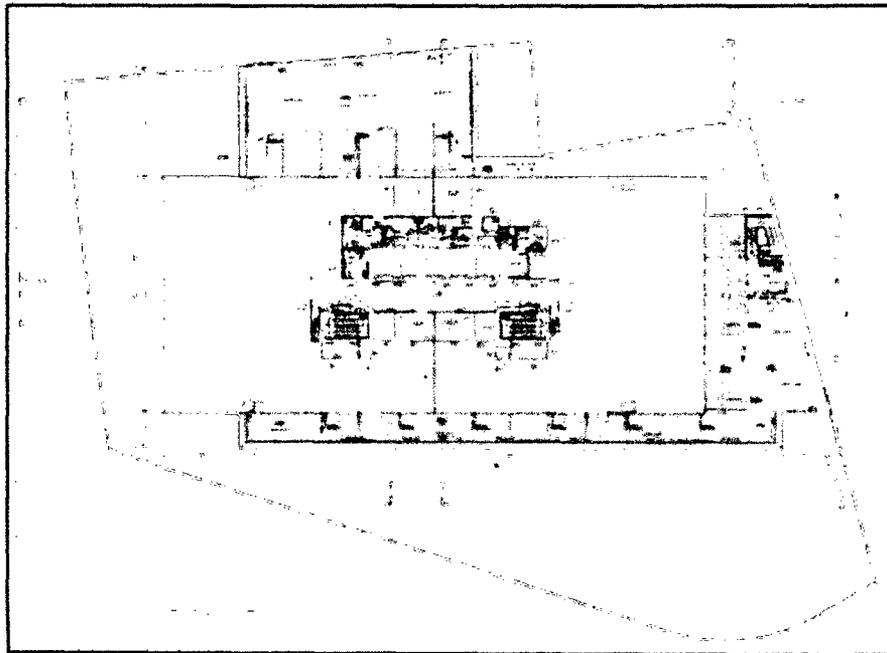


Figura 3. 10: Piso 15-17

Lobby Torre

Ascensores (pisos altos, bajos, comercial y servicio)

Zona de Salas de Usos Múltiples

Oficina 1

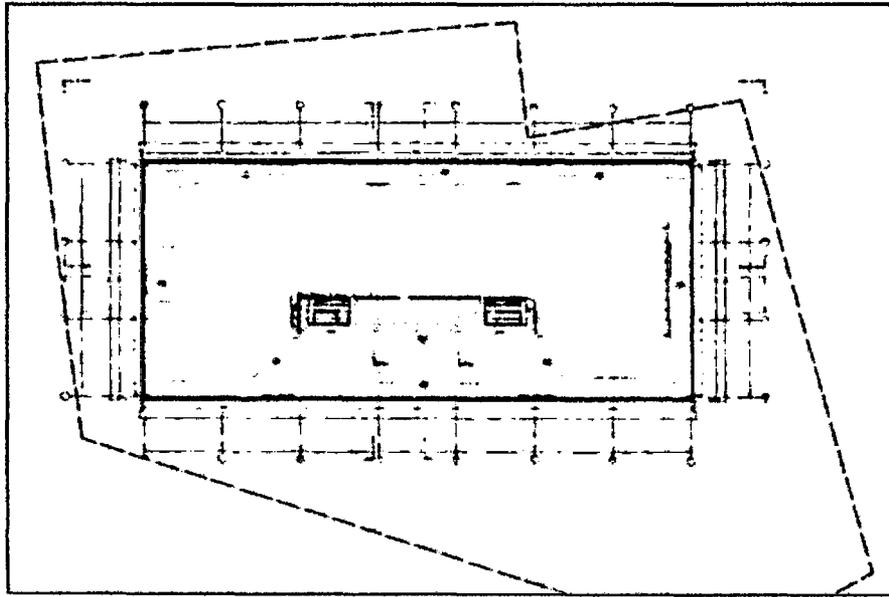
Oficina 2

Escaleras y zona de escape

Batería de baños

Terraza

Jardinera



Figma 3. 11: Piso semi típico 5 – 11 (Ascensores)

- Zona de Equipamiento -----
- Terraza -----
- Jardinería -----

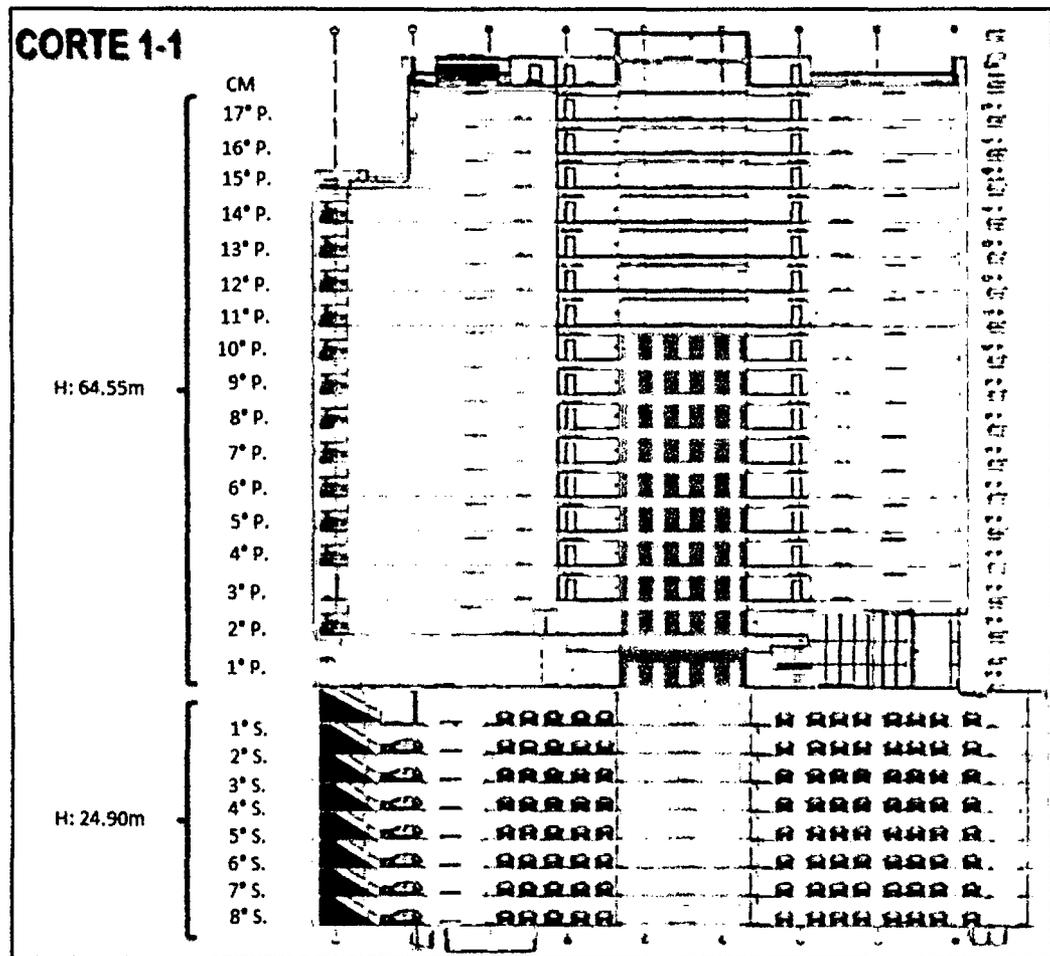


Figura 3. 12: Corte 1-1 del edificio

Ductería enterrada	-----
Sótanos	-----
Lobby Torre / hall de ascensores	-----
Ascensores (pisos bajos)	-----
Tienda 1	-----
Oficina 1	-----
Oficina 2	-----
Batería de baños	-----
Terraza	-----
Jardinera	-----

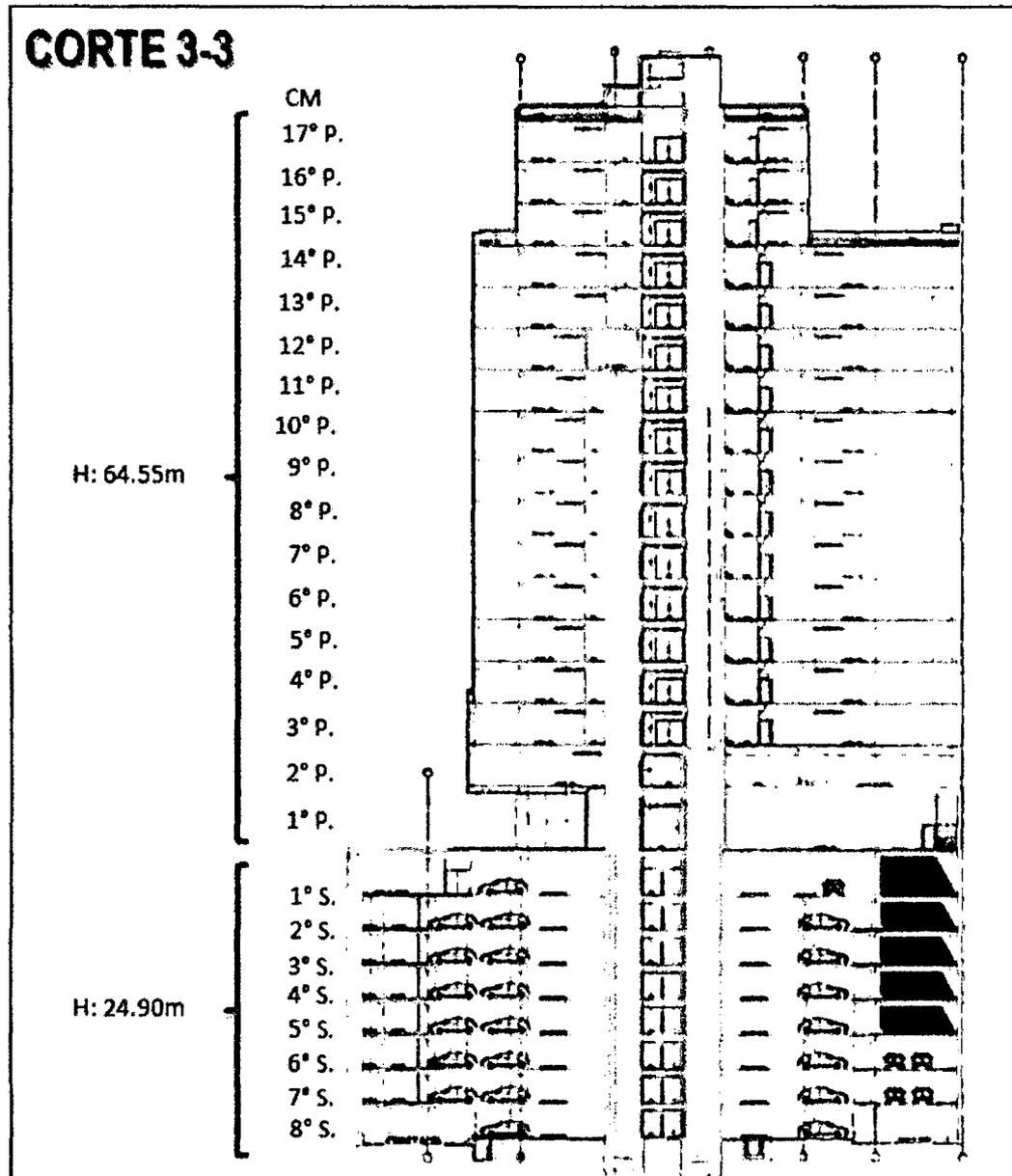


Figura 3. 13: Corte 3-3 del edificio

- Ductería enterrada -----
- Sótanos -----
- Lobby Torre / hall de ascensores -----
- Ascensores -----
- Tienda 2 -----
- Zona de salas de usos múltiples -----
- Oficina 1 -----
- Batería de baños -----

Terraza

Jardinera

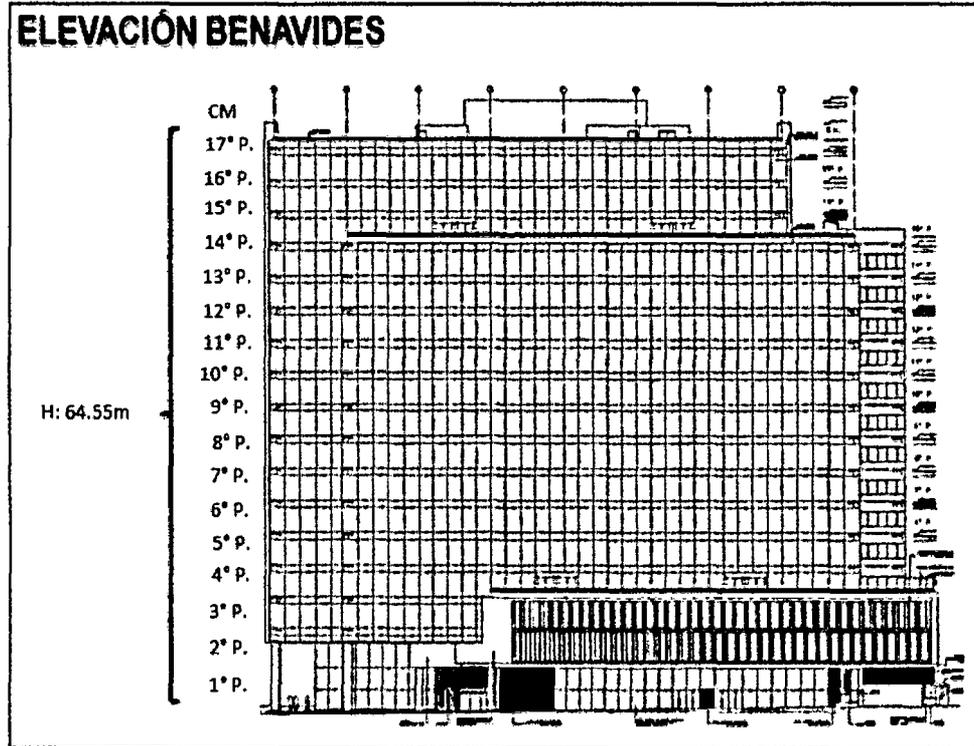


Figura 3. 14: Vista de elevación Av. Benavides

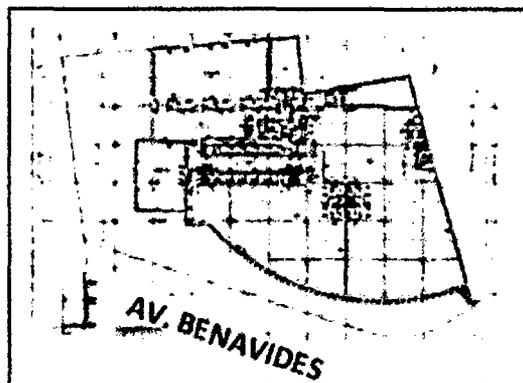


Figura 3. 15: Vista planta ubicación de Av. Benavides

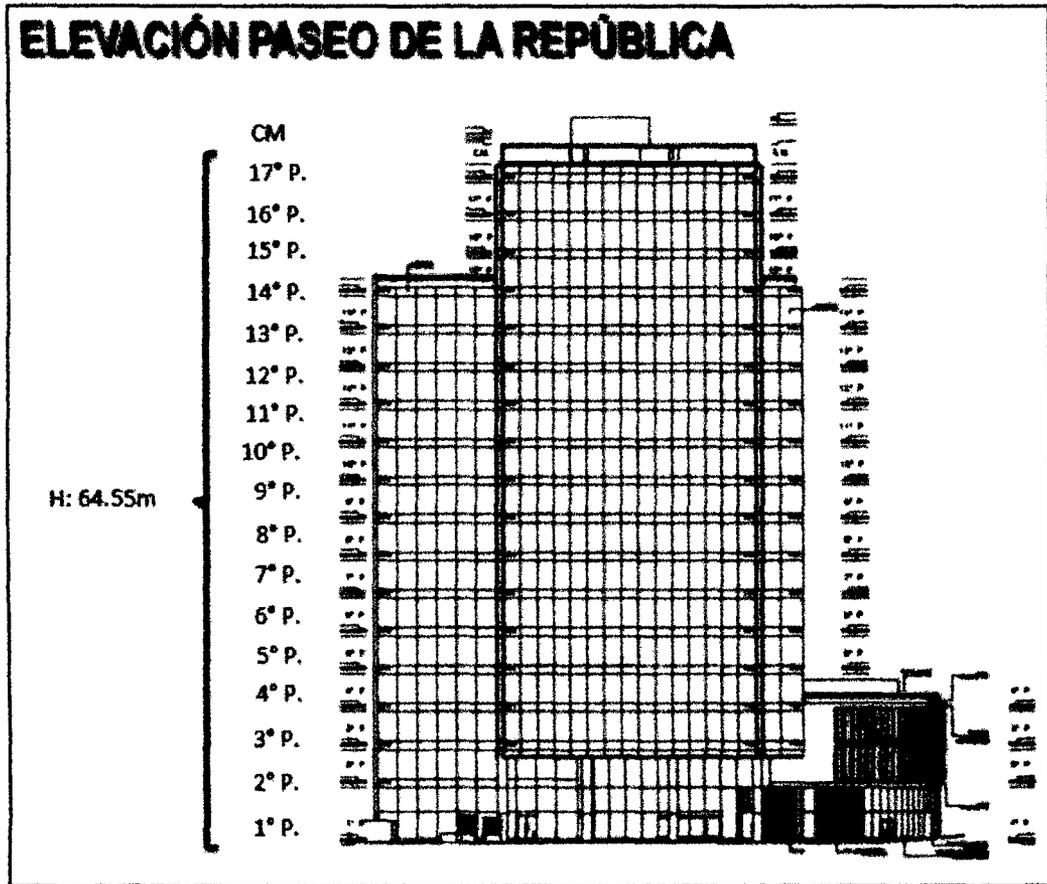


Figura 3. 16: Vista de elevación Av. Paseo de la República

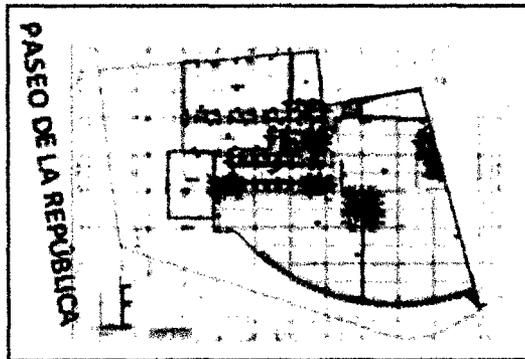


Figura 3. 17: Vista planta ubicación de Av. Paseo de la República

3.1.2.- Análisis de las deficiencias de la Programación y Planificación Tradicional

Si se piensa hacer más rentable la construcción de un edificio con el uso de losas prefabricadas, es fundamental desarrollar una correcta planificación y defender constantemente la programación semanal.

En la actualidad, el nivel de confiabilidad de la programación tradicional es muy bajo ya que se basa en conceptos erróneos e información no confiable. El programador desarrolla una programación muy a detalle de cada etapa de la construcción **invirtiendo muchas horas** de trabajo en base a supuestos y sin un análisis de restricciones, las cuales impedirán que se cumpla el plan.

La correcta programación con base en el levantamiento de restricciones y enfocado a la continuidad de flujos, es fundamental. A continuación, dos ejemplos producto de la planificación tradicional.

Ejemplo 1: El plan de trabajo del día 5 consiste en el montaje de prelosas, sin embargo dicho plan falla debido a que no se ha podido culminar con el apuntalamiento por la falta de puntales, ocasionado por un descuido administrativo de obra. Este caso es una clara muestra que no se ha desarrollado un análisis de restricciones y por ende no se ha levantado la restricción de falta de materiales en la obra. Consecuencia: Detención del flujo.

Ejemplo 2: El día 5 se ha desarrollado correctamente y sin complicaciones el montaje de las prelosas, sin embargo han pasado más de dos días y el concreto sobre dichas prelosas aún no ha sido vaciado. Este caso es un claro ejemplo de una interrupción en el flujo de actividades, puede darse por restricciones no levantadas o peor aún, por una incorrecta programación. No es en lo absoluto rentable utilizar elementos prefabricados si estos no se van a incluir en un tren de actividades que garantice el flujo constante de la construcción. Consecuencia: Detención del flujo.

Es importante recordar que un sistema con un flujo ininterrumpido es mucho mejor que un sistema con tareas muy eficientes pero que trabajan intermitentemente.

Es así pues, que para lograr la máxima rentabilidad en proyectos de edificaciones con prelosas se deberá: (1) lograr flujos constantes, (2) lograr flujos eficientes y finalmente (3) lograr que los procesos de los trenes de actividades sean eficientes.

Los métodos de programación tradicionales no ambicionan ni apuntan a ninguno de estos tres puntos, su estrategia es ejecutar todo lo que se pueda, tratando en lo posible de alcanzar una programación eficiente, que se desfasa durante los primeros días de inicio de la obra. Esto trae como consecuencia pérdidas económicas por la ineficiente productividad del uso de prelosas (no se aprovecha su máximo potencial).

3.1.3.- Análisis de la Planificación y Programación con Lean

Para planificar el proyecto es importante empezar a subdividir las tareas en partes más pequeñas para ver las metas en un horizonte menor, es así que se definirá la estructura de división de trabajo y la sectorización de las plantas del edificio. Así mismo se debe definirán los lugares de descarga de prelosas, la ubicación de torres grúa, almacenes, oficinas, etc. a través del "layout del proyecto".

Una vez planificado el proyecto y ya en la etapa de ejecución, se procederá a programar paso a paso la ejecución del proyecto para lo cual se definirá los trenes de actividades que aseguren la consecución inmediata de trabajos.

3.1.3.1.- Estructuras de división de trabajo

El desarrollo inmobiliario en nuestro país, ha provocado que se ambicione realizar cada vez, proyectos de edificaciones más altos, de mayor complejidad.

Para poder enfrentar un proyecto de gran volumen se debe empezar por dividirlo en diferentes actividades para su mejor control.

Al dividir un trabajo muy complejo en sub-trabajos logramos que nuestras metas se vean a un horizonte más cercano que cuando se piensa realizar el trabajo sin hacer una correcta planificación, provocando desorden, confusión, y resultados no deseados.

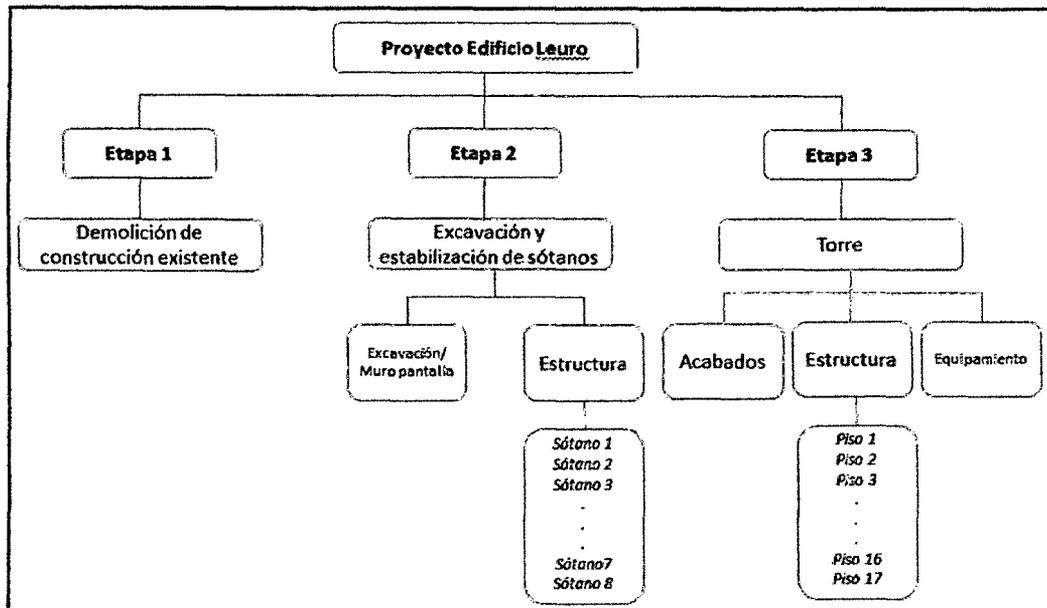


Figura 3. 18: EDT del Proyecto Leuro

Al realizar el EDT del proyecto podemos distinguir rápidamente en qué etapa de la construcción se utilizarán las losas prefabricadas lo cual ayudará a programar correcta y oportunamente la ejecución de estos trabajos. Para nuestro EDT las prelosas entraron en la construcción de estructuras de las etapas 2 y 3, por lo que para el presente estudio nos enfocaremos principalmente en la construcción del casco del edificio.

Es importante mencionar que enfrentar un trabajo sin hitos de planificación o metas cercanas, puede traer como consecuencias:

- Desorden
- Confusión,
- Resultados no deseados.

3.1.3.2.- Layout del Proyecto

El layout de un proyecto es el plan de organización de los ambientes provisionales o elementos que se requieren para ejecutar la obra.

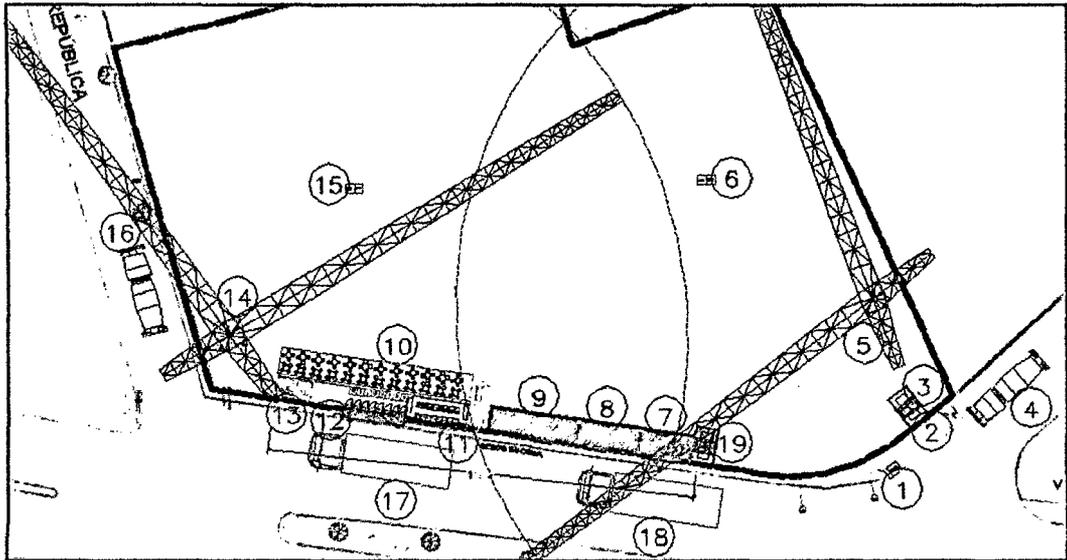
Es importante señalar que el layout se suele modificar estratégicamente a medida que la construcción del edificio crezca en altura con el fin de facilitar el acceso de los colaboradores hacia estos ambientes y ahorrando costos por menor tiempo de acarreo de herramientas y materiales de los trabajadores. En el proyecto Leuro, desarrollamos dos layouts, el primero para la construcción de los sótanos y el segundo para la construcción de la torre.

a) Layout durante la ejecución de los Sótanos

Cuadro 3. 1: Cuadro leyenda del layout sótanos

Descripción de Áreas del Sótano 8 al Sótano 2
1.- Caseta de vigilancia e ingreso peatonal.
2.- Grupo electrógeno para la grúa "B".
3.- Escalera de acceso a los sótanos.
4.- Suministro de concreto para frente "B"
5.- Grúa torre "B"
6.- SSHH portátiles para frente "B"
7.- Almacén de productos químicos
8.- Almacén de materiales
9.- Almacén de herramientas y equipos manuales
10.- Comedor
11.- Vestidores
12.- Baños para personal obrero
13.- Grupo electrógeno para grúa "A"
14.- Grúa torre "A"
15.- SSHH portátiles para frente "A"
16.- Suministro de concreto para frente "A"
17.- Descarga de prelosas frente "A"
18.- Descarga de prelosas frente "B"
19.- Escalera de acceso a sótanos

Fuente: Planeamiento del proyecto Centro Empresarial Leuro



**Figura 3. 19: Layout sótanos
b) Layout durante la ejecución de la Torre**

Cuadro 3. 2: Cuadro leyenda del layout torre

Descripción de Áreas del Sótano 1 al Piso 17
1.- Oficina residente, OT y sala de reuniones
2.- Oficinas de campo y administración
3.- Oficinas supervisión
4.- Servicios higiénicos supervisión
5.- Servicios higiénicos staff
6.- Almacén de herramientas , equipos manuales y material.
7.- Almacén de productos químicos
8.- Duchas, baño y vestuarios de obrero
9.- comedor de obreros

Fuente: Planeamiento del proyecto Centro Empresarial Leuro

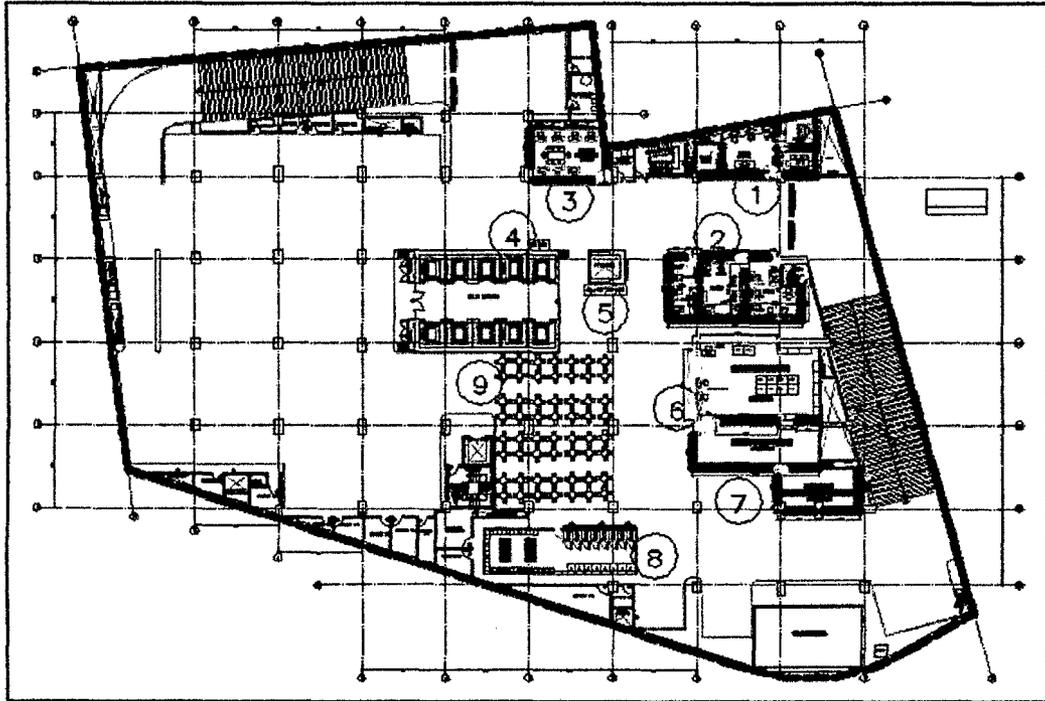


Figura 3. 20: Layout torre

3.1.3.3.- Planificación de Grúas Torre

El montaje de prelosas se realiza necesariamente con grúas, en maniobras del camión a la posición final de la unidad, por ende, la cantidad y ubicación de las torres grúas debe ser de tal forma que su alcance abarque toda el área del proyecto, de esta manera se garantizará que el izaje y transporte de las prelosas y materiales sea posible a cualquier lugar de terreno, ya sea para instalación o almacenamiento.

Para nuestro caso en estudio se optó por utilizar dos torres grúas ("A" y "B") "Grúa Potain MC 115 especial" con plumas de 50.00 m y con carga en punta máxima de 2.20 ton cada una, las cuales han sido ubicadas estratégicamente en función a su alcance:

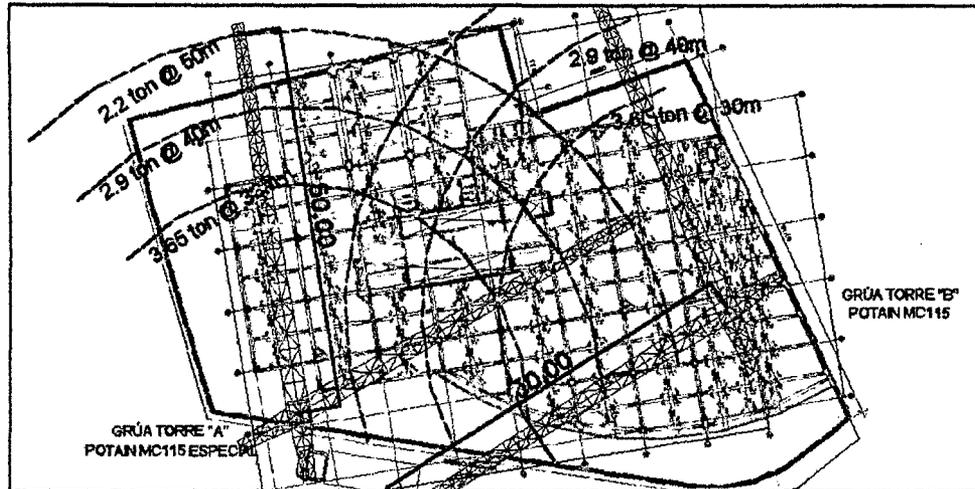


Figura 3. 21: Plano con alcances de la grúa según su radio

3.1.3.4.- Sectorización del proyecto

Para comenzar con la programación de un proyecto previamente se deben dividir los trabajos en sectores de similares dimensiones, esto ayudará a controlar el flujo y volverlo eficiente.

En primer lugar mostraremos la sectorización del edificio considerando el sistema de losas convencionales y después mostraremos la sectorización del proyecto con el uso de prelosas. Es importante mencionar, que para estimar las áreas de la sectorización se debe evaluar de manera adecuada el área que se puede construir en un día o una jornada de trabajo. Es por este motivo que la sectorización variará de acuerdo al sistema empleado. En el proyecto Leuro uno de los principales motivos por los cuales se optó cambiar de sistema y usar prelosas, fue debido a que se estimó y finalmente se logró ejecutar más áreas por jornada con este sistema.

Es importante mencionar también que nuestro edificio en estudio tiene como pisos típicos: del sótano 8 al sótano 1; del piso 1 al piso 3; del piso 4 al piso 14; del piso 15 al piso 17, por lo que la sectorización entre pisos típicos será igual. Además, hemos sectorizado los trabajos en dos frentes "A" y "B" en gran parte del edificio de la siguiente manera:

a.- Sectorización con el sistema de losas convencionales

Para nuestro análisis comparativo, se ha realizado también la sectorización del mismo edificio pero con el uso de losas convencionales. Nótese que varía la cantidad de sectores por pisos típicos debido a que con el cambio de sistema de losas convencionales a losas con prelosas cambia el área de construcción que se puede ejecutar en un día.

A continuación se mostrarán los recursos estimados a utilizar con el sistema de losas convencionales, en total y por sector, los mismos que han sido calculados con ratios estadísticos para losas convencionales.

Cuadro 3. 3: Cuadro de recursos utilizados en losa convencional en sótanos

SOTANOS	AREAS	RATIOS POR AREA			LOSA ALIGERADA
		m3/m2 CONCRETO	m2/m2 ENCOFRADO	Kg/m2 ACERO	und/m2 LADRILLOS
AREA TOTAL	3,732.30	0.32	1.83	35.58	8.33
FRENTE A	1,834.34	579.60	3,364.22	65,270.50	15,286.17
Sector 1A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 2A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 3A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 4A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 5A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 6A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 7A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 8A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 9A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 10A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
Sector 11A	166.76	52.69	305.84	5,933.68	1,389.65
FRENTE B	1,897.96	599.70	3,480.90	67,534.26	15,816.33
Sector 1B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 2B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 3B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 4B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 5B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 6B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 7B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 8B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 9B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 10B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
Sector 11B	172.54	54.52	316.45	6,139.48	1,437.85
PROMEDIO	169.65	53.60	311.14	6,036.58	1,413.75

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 4: Cuadro de recursos utilizados en losa convencional del piso 1 al piso 13

	AREAS	RATIOS POR AREA			LOSA ALIGERADA
		m3/m2	m2/m2	Kg/m2	und/m2
PISO 1 al 3		CONCRETO	ENCOFRADO	ACERO	LADRILLOS
AREA TOTAL	2,868.75	0.32	1.83	35.58	8.33
FRENTE A	1,417.24	447.81	2,599.24	50,428.84	11,810.29
Sector 1A	177.15	55.98	324.91	6,303.60	1,476.29
Sector 2A	177.15	55.98	324.91	6,303.60	1,476.29
Sector 3A	177.15	55.98	324.91	6,303.60	1,476.29
Sector 4A	177.15	55.98	324.91	6,303.60	1,476.29
Sector 5A	177.15	55.98	324.91	6,303.60	1,476.29
Sector 6A	177.15	55.98	324.91	6,303.60	1,476.29
Sector 7A	177.15	55.98	324.91	6,303.60	1,476.29
Sector 8A	177.15	55.98	324.91	6,303.60	1,476.29
FRENTE B	1,451.52	458.64	2,662.11	51,648.61	12,095.96
Sector 1B	181.44	57.33	332.76	6,456.08	1,511.99
Sector 2B	181.44	57.33	332.76	6,456.08	1,511.99
Sector 3B	181.44	57.33	332.76	6,456.08	1,511.99
Sector 4B	181.44	57.33	332.76	6,456.08	1,511.99
Sector 5B	181.44	57.33	332.76	6,456.08	1,511.99
Sector 6B	181.44	57.33	332.76	6,456.08	1,511.99
Sector 7A	181.44	57.33	332.76	6,456.08	1,511.99
Sector 8A	181.44	57.33	332.76	6,456.08	1,511.99
PROMEDIO	179.30	56.65	328.83	6379.84	1,494.14

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 5: Cuadro de recursos utilizados en losa convencional del piso 4 al piso 14

	AREAS	RATIOS POR AREA			LOSA ALIGERADA
		m3/m2	m2/m2	Kg/m2	und/m2
PISO 4 al 14		CONCRETO	ENCOFRADO	ACERO	LADRILLOS
AREA TOTAL	2,201.94	0.32	1.83	35.58	8.33
FRENTE A	1,316.30	415.92	2,414.12	46,837.31	10,969.17
Sector 1A	219.38	69.32	402.35	7,806.22	1,828.19
Sector 2A	219.38	69.32	402.35	7,806.22	1,828.19
Sector 3A	219.38	69.32	402.35	7,806.22	1,828.19
Sector 4A	219.38	69.32	402.35	7,806.22	1,828.19
Sector 5A	219.38	69.32	402.35	7,806.22	1,828.19
Sector 6A	219.38	69.32	402.35	7,806.22	1,828.19
FRENTE B	885.64	279.84	1,624.28	31,513.33	7,380.33
Sector 1B	147.61	46.64	270.71	5,252.22	1,230.06
Sector 2B	147.61	46.64	270.71	5,252.22	1,230.06
Sector 3B	147.61	46.64	270.71	5,252.22	1,230.06
Sector 4B	147.61	46.64	270.71	5,252.22	1,230.06
Sector 5B	147.61	46.64	270.71	5,252.22	1,230.06
Sector 6B	147.61	46.64	270.71	5,252.22	1,230.06
PROMEDIO	183.50	57.98	336.53	6,529.22	1,529.13

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 6: Cuadro de recursos utilizados en losa convencional del piso 15 al piso 17

PISO 15 al 17	AREAS	RATIOS POR AREA			LOSA ALIGERADA
		m3/m2	m2/m2	Kg/m2	und/m2
		CONCRETO	ENCOFRADO	ACERO	LADRILLOS
AREA TOTAL	1,427.37	0.32	1.83	35.58	8.33
FRENTE A	1,427.37	451.01	2,617.83	50,789.47	11,894.75
Sector 1	178.42	56.38	327.23	6,348.68	1,486.84
Sector 2	178.42	56.38	327.23	6,348.68	1,486.84
Sector 3	178.42	56.38	327.23	6,348.68	1,486.84
Sector 4	178.42	56.38	327.23	6,348.68	1,486.84
Sector 5	178.42	56.38	327.23	6,348.68	1,486.84
Sector 6	178.42	56.38	327.23	6,348.68	1,486.84
Sector 7	178.42	56.38	327.23	6,348.68	1,486.84
Sector 8	178.42	56.3763022	327.228514	6348.68343	1,486.84
PROMEDIO	178.42	56.38	327.23	6,348.68	1,486.84

Fuente: Elaboración Propia

b.- Sectorización con el sistema de prelasas

La sectorización desarrollada y con la se ejecutó el edificio Leuro con prelasas fue la siguiente:

Para los sótanos, se cuenta con siete (7) sectores por cada frente, con áreas de 266.59 m² en promedio.

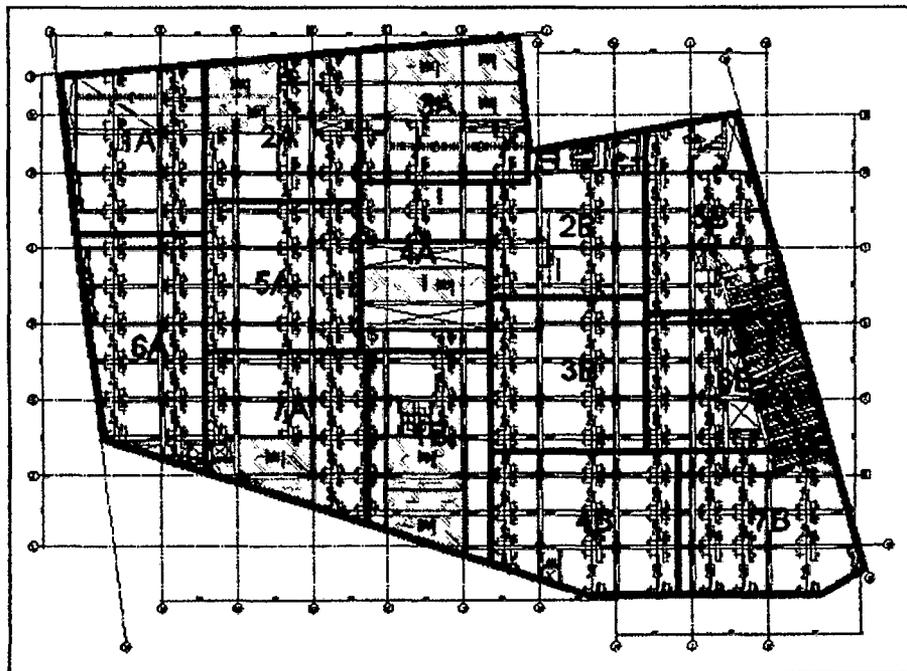


Figura 3. 22: Sectorización de sótanos

Cuadro 3. 7: Cuadro de recursos utilizados en losa con el uso de prelosa en sótanos

SOTANOS	AREAS	RATIOS			LOSA ALIGERADA
		m3/m2 CONCRETO	m2/m2 ENCOFRADO	Kg/m2 ACERO	ton/m2 PRELOSAS
AREA TOTAL	3,732.30	0.50	1.53	31.97	0.11
FRENTE A	1,850.91	925.95	2,831.03	59,181.76	199.90
Sector 1A	254.71	127.42	389.59	8,144.20	27.51
Sector 2A	254.66	127.40	389.51	8,142.60	27.50
Sector 3A	262.20	131.17	401.04	8,383.69	28.32
Sector 4A	254.75	127.44	389.65	8,145.48	27.51
Sector 5A	267.50	133.82	409.15	8,553.15	28.89
Sector 6A	287.91	144.03	440.37	9,205.75	31.09
Sector 7A	269.18	134.66	411.72	8,606.87	29.07
FRENTE B	1,881.39	941.20	2,877.65	60,156.34	203.19
Sector 1B	268.99	134.57	411.43	8,600.80	29.05
Sector 2B	262.17	131.16	401.00	8,382.73	28.31
Sector 3B	271.45	135.80	415.19	8,679.45	29.32
Sector 4B	287.12	143.64	439.16	9,180.49	31.01
Sector 5B	262.29	131.22	401.18	8,386.57	28.33
Sector 6B	257.11	128.62	393.26	8,220.94	27.77
Sector 7B	272.26	136.20	416.43	8,705.35	29.40
PROMEDIO / DÍA	266.59	133.37	407.76	8,524.15	28.79

Fuente: Planeamiento del Proyecto Centro Empresarial Leuro

Del primer piso al tercero, se cuenta con cinco (5) sectores por cada frente, con áreas de 286.88 m² en promedio.

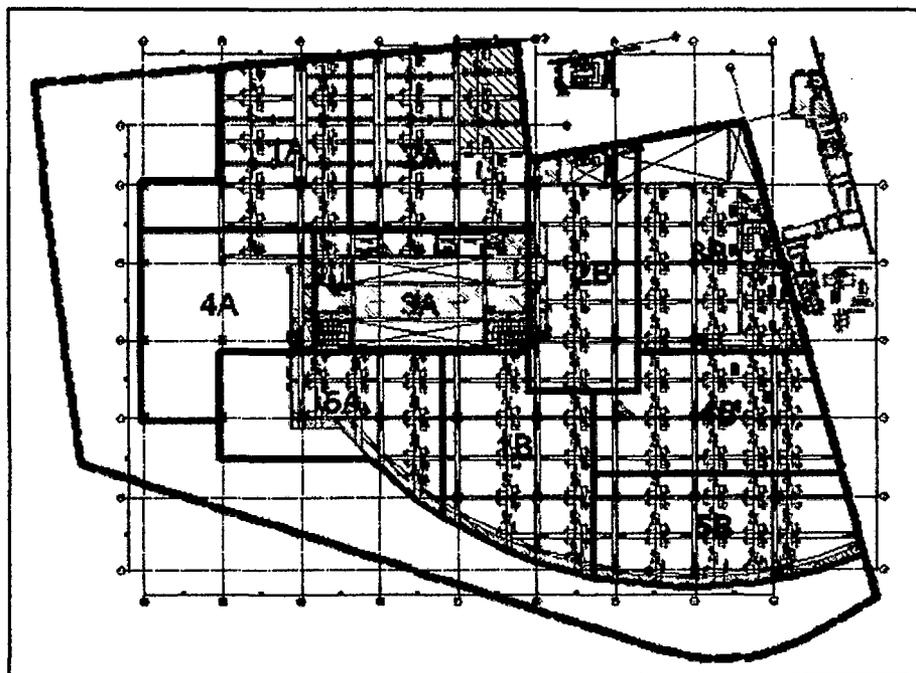


Figura 3. 23: Sectorización del 1er al 3er piso

Cuadro 3. 8: Cuadro de recursos utilizados en losa con el uso de prelosa del piso 1 al piso 3

PISO 1 al 3	AREAS	RATIOS			LOSA ALIGERADA
		m ³ /m ² CONCRETO	m ² /m ² ENCOFRADO	Kg/m ² ACERO	ton/m ² PRELOSAS
AREA TOTAL	2,868.75	0.50	1.53	31.97	0.11
FRENTE A	1,394.54	697.65	2,133.00	44,589.60	150.61
Sector 1A	279.33	139.74	427.25	8,931.41	30.17
Sector 2A	271.69	135.92	415.56	8,687.13	29.34
Sector 3A	277.99	139.07	425.20	8,888.57	30.02
Sector 4A	284.92	142.54	435.80	9,110.15	30.77
Sector 5A	280.61	140.38	429.20	8,972.34	30.31
FRENTE B	1,474.21	737.50	2,254.86	47,137.00	159.21
Sector 1B	292.27	146.21	447.04	9,345.16	31.57
Sector 2B	285.59	142.87	436.82	9,131.57	30.84
Sector 3B	325.93	163.05	498.52	10,421.42	35.20
Sector 4B	278.96	139.56	426.68	8,919.58	30.13
Sector 5B	291.46	145.81	445.80	9,319.26	31.48
PROMEDIO	286.88	197.51	603.88	12,623.96	30.98

Fuente: Planeamiento del Proyecto Centro Empresarial Leuro

Del piso cuatro (4) al catorce (14), se cuenta con cinco (5) sectores por cada frente, con áreas de 220.19 m² en promedio.

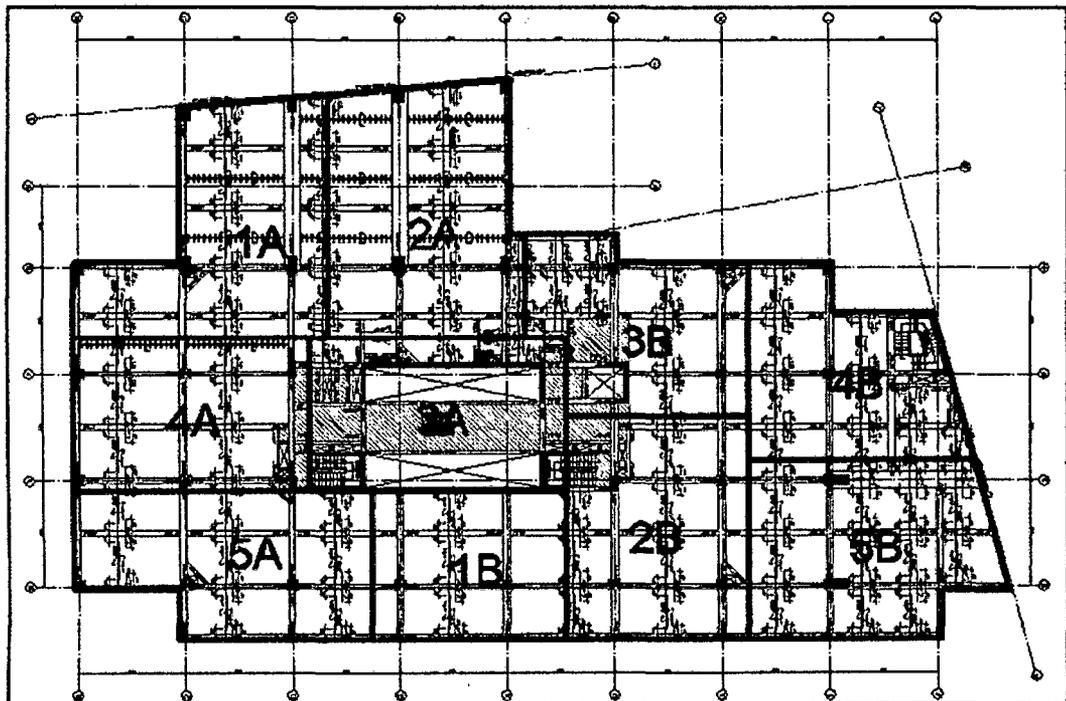


Figura 3. 24: Sectorización del 4to al 14vo piso

Cuadro 3. 9: Cuadro de recursos utilizados en losa con el uso de prelosa del piso 4 al piso 14

PISO 4 al 14	AREAS	RATIOS			LOSA ALIGERADA
		m3/m2 CONCRETO	m2/m2 ENCOFRADO	Kg/m2 ACERO	ton/m2 PRELOSAS
AREA TOTAL	2,201.94	0.50	1.53	31.97	0.11
FRENTE A	1,179.09	589.86	1,803.46	37,700.71	127.34
Sector 1A	246.16	123.15	376.51	7,870.82	26.59
Sector 2A	272.18	136.16	416.31	8,702.80	29.40
Sector 3A	229.01	114.57	350.28	7,322.46	24.73
Sector 4A	208.89	104.50	319.50	6,679.13	22.56
Sector 5A	222.85	111.49	340.86	7,125.50	24.07
FRENTE B	1,022.85	511.70	1,564.49	32,705.03	110.47
Sector 1B	166.10	83.09	254.06	5,310.95	17.94
Sector 2B	231.23	115.68	353.67	7,393.44	24.97
Sector 3B	193.88	96.99	296.55	6,199.20	20.94
Sector 4B	196.10	98.10	299.94	6,270.18	21.18
Sector 5B	235.54	117.83	360.27	7,531.25	25.44
PROMEDIO	220.19	110.16	336.79	7040.57	23.78

Fuente: Planeamiento del Proyecto Centro Empresarial Leuro

Del piso quince (15) al diecisiete (17), se cuenta con seis (6) sectores para un solo frente de trabajo, con áreas de 237.90 m² en promedio.

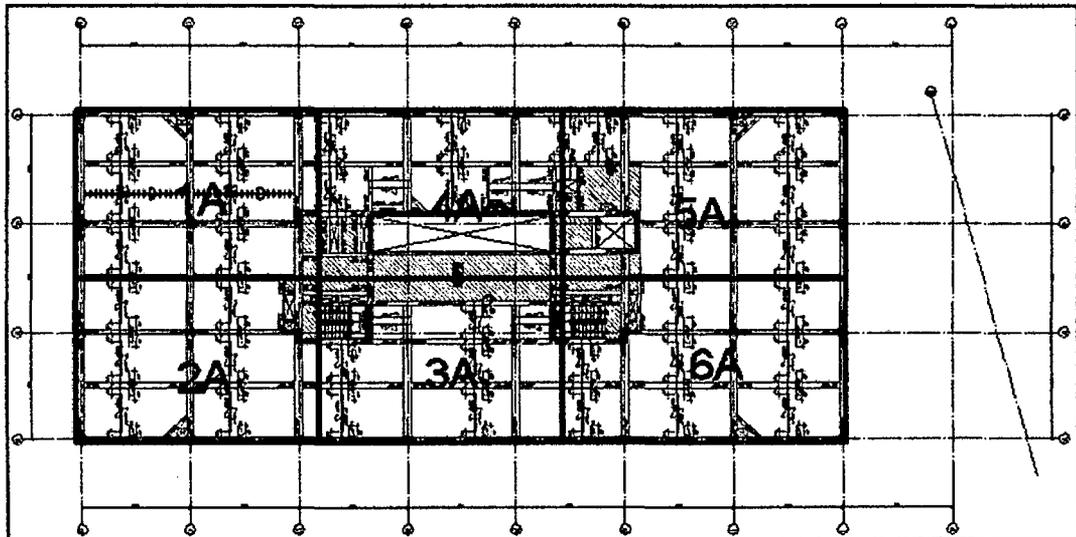


Figura 3. 25: Sectorización del 15vo al 17vo piso

Cuadro 3. 10: Cuadro de recursos utilizados en losa con el uso de prelosa del piso 15 al piso 17

PISO 15 al 17	AREAS	RATIOS			LOSA ALIGERADA
		m3/m2 CONCRETO	m2/m2 ENCOFRADO	Kg/m2 ACERO	ton/m2 PRELOSAS
AREA TOTAL	1,427.37	0.50	1.53	31.97	0.11
FRENTE A	1,427.37	714.07	2,183.21	45,639.32	154.16
Sector 1	228.44	114.28	349.41	7,304.23	24.67
Sector 2	222.29	111.21	340.00	7,107.59	24.01
Sector 3	223.10	111.61	341.24	7,133.49	24.09
Sector 4	229.31	114.72	350.74	7,332.05	24.77
Sector 5	265.74	132.94	406.46	8,496.88	28.70
Sector 6	258.49	129.31	395.37	8,265.07	27.92
PROMEDIO	237.90	119.01	363.87	7606.55	25.69

Fuente: Planeamiento del Proyecto Centro Empresarial Leuro

Con las áreas obtenidas en la sectorización y con ayuda de ratios estadísticos, se pudo estimar la cantidad de recursos a utilizar en el casco con el uso de prelosas, los resultados se muestran en los cuadros precedentes.

3.1.3.5.- Tren de Actividades, Plan Semanal y Lookahead

Para que el uso de prelosas sea óptimo y rentable es importante que el proceso de la producción de losas, y del edificio en general, se lleve de forma consecutiva y ordenada a través de un tren de actividades el cual garantice la consecución de trabajos en un plan semanal.

Dicho plan semanal debe estar protegido por un previo análisis de restricciones, el cual debe ser evaluado y superado semanas atrás al inicio de la semana en proceso. Este análisis de restricciones lo desarrollaremos en el siguiente capítulo.

Es preciso mencionar que los días sábado, en los cuales las jornadas de trabajo son de medio día, lo consideraremos como un buffer de programación.

Un buffer de programación es una estrategia complementaria para proteger el plan de la variabilidad a los procesos de producción en los proyectos de construcción, para la cual no han sido tomadas las suficientes acciones.

A continuación se mostrará el lookahead para la construcción del piso 4 del proyecto para el caso de losas convencionales y prelasas.

Cuadro 3. 11: Lookahead para la construcción del piso 4 bajo el sistema de losa convencional

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES			Mes 8								Mes 9									
			228	229	232	233	234	235	236	239	240	241	242	243	246	247	248	249	250	253
ACER	Acero verticales	tn	1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	6A-P4	1B-P4	2B-P4	3B-P4	4B-P4	5B-P4	6B-P4						
ENCO	Encofrado verticales	tn		1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	6A-P4	1B-P4	2B-P4	3B-P4	4B-P4	5B-P4	6B-P4					
CONC	Concreto verticales	m ²		1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	6A-P4	1B-P5	2B-P5	3B-P5	4B-P5	5B-P5	6B-P4					
ENCO	Encofrado de fondo de vigas	m ²			1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	6A-P4	1B-P4	2B-P4	3B-P4	4B-P4	5B-P4	6B-P4				
ACER	Acero vigas	tn				1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	6A-P4	1B-P4	2B-P4	3B-P4	4B-P4	5B-P4	6B-P4			
IZAJE	Encofrado de costado de viga y losa	m ²					1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	6A-P4	1B-P4	2B-P4	3B-P4	4B-P4	5B-P4	6B-P4		
ACER	Acero de losas	tn						1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	6A-P4	1B-P4	2B-P4	3B-P4	4B-P4	5B-P4	6B-P4	
IIEE	Instalaciones horizontales	glb						1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	6A-P4	1B-P4	2B-P4	3B-P4	4B-P4	5B-P4	6B-P4	
CONC	Concreto horizontales	m ³							1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	6A-P4	1B-P4	2B-P4	3B-P4	4B-P4	5B-P4	6B-P4

Fuente: Programación del Proyecto Centro Empresarial Leuro

Cuadro 3. 12: Lookahead para la construcción del piso 4 bajo el sistema de prelosa

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES			Mes 5			Mes 6										
			148	149	150	151	152	155	156	157	158	159	162	163	164	165
ACER	Acero verticales	tn	3.5	3.9	3.3	3.0	3.2	2.4	3.3	2.8	2.8	3.3				
ENCO	Encofrado verticales	tn		216.6	239.5	201.5	183.8	196.1	146.2	203.5	170.6	172.6	207.3			
CONC	Concreto verticales	m ²		32.0	35.4	29.8	27.2	29.0	21.6	30.1	25.2	25.5	30.6			
ENCO	Apuntalamiento de prelosas	m ²			1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	1B-P4	2B-P4	3B-P4	4B-P4	5B-P4		
ACER	Encofrado fondos de viga	tn			275.7	304.8	256.5	234.0	249.6	186.0	259.0	217.1	219.6	263.8		
IZAJE	Montaje prelosa	m ²				209.2	231.4	194.7	177.6	189.4	141.2	196.5	164.8	166.7	200.2	
ACER	Acero horizontales	tn				7.1	7.8	6.6	6.0	6.4	4.8	6.7	5.6	5.6	6.8	
IIEE	Instalaciones horizontales	glb					1A-P4	2A-P4	3A-P4	4A-P4	5A-P4	1B-P5	2B-P5	3B-P5	4B-P5	5B-P5
CONC	Concreto horizontales	m ³					51.7	57.2	48.1	43.9	46.8	34.9	48.6	40.7	41.2	49.5

Fuente: Programación del Proyecto Centro Empresarial Leuro

Los lookahead muestran los trenes de actividades utilizados para cada caso, la ubicación y el orden de cada área a construir, el número de día en el que se encuentra, desde el inicio de la obra y el mes de construcción en el que se está evaluando.

Además, a través del tren de actividades de ambos casos, se puede observar la sustitución de algunos procesos y la reducción del periodo de la actividad, es así que podemos calcular el ahorro en el plazo y en recursos utilizados.

De los cuadros se puede verificar que el tren de actividades del sistema de prelosas tiene como duración cinco días, mientras que el sistema convencional tiene como duración siete días. Este tiempo ganado fue muy importante para reducir el tiempo de ejecución y cumplir con la entrega en el plazo contractual del edificio, así como para amortiguar cualquier variabilidad que ocurra durante la construcción del edificio.

3.1.3.6.- Cronogramas tentativos

Bajo el criterio de sectorización y de trabajo mediante tren de actividades, se han elaborado los cronogramas tentativos para cada caso.

Considerando solo el casco del edificio:

- Con losas convencionales se calculó un tiempo de ejecución de 482 días calendario.
- Con prelosas el tiempo de ejecución del casco fue de 402 días calendario.

El ahorro en tiempo es de 80 días calendario.

Cabe mencionar que para la estimación de estos plazos se ha trabajado ambos sistemas con la aplicación de la filosofía Lean, siguiendo un tren de actividades constante y eficaz, para lo cual se ha debido trabajar en un levantamiento previo de restricciones, semanal en ambos casos, con el objetivo de defender la programación. (Ver anexos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8).

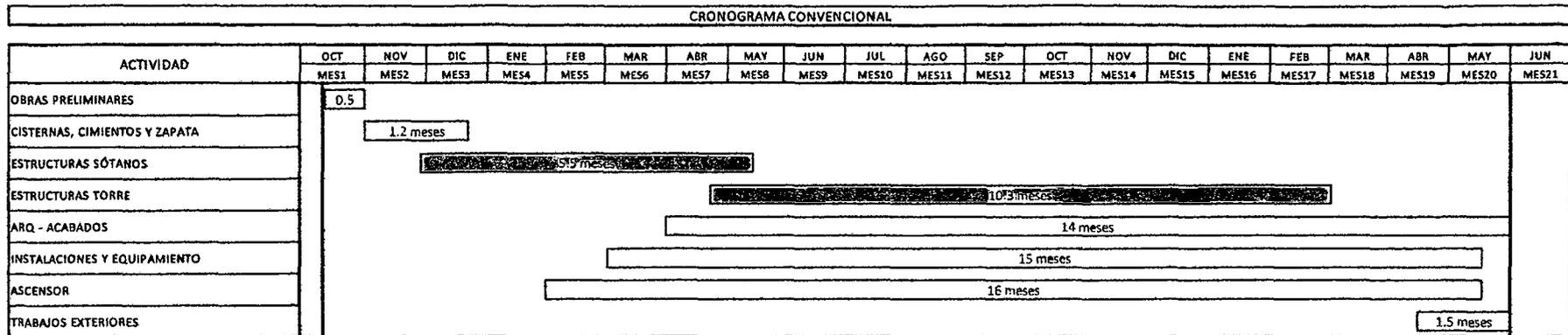


Figura 3. 26: Cronograma tentativo con el sistema de losas convencionales

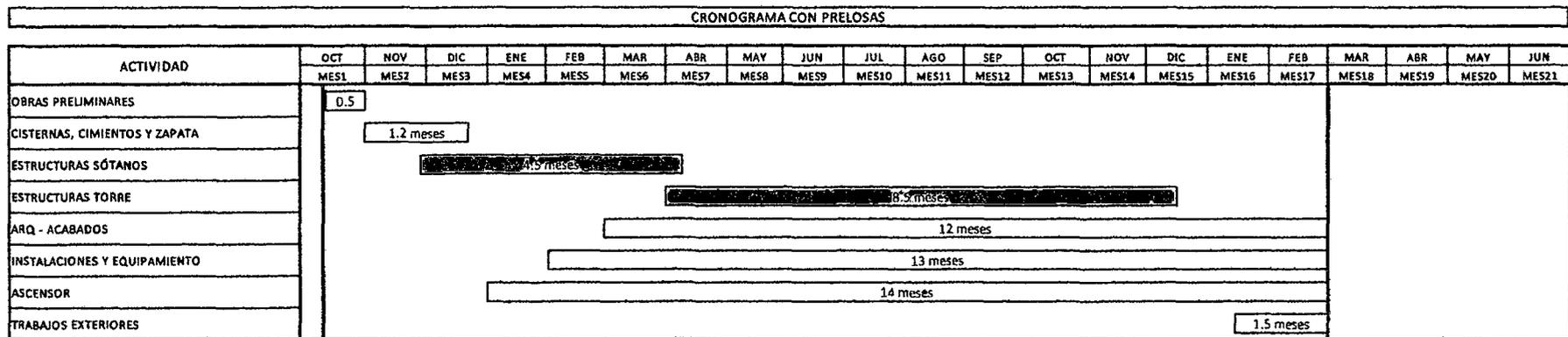


Figura 3. 27: Cronograma tentativo con el sistema de losas convencionales

3.1.3.7.- Recursos a utilizar según sectores

A continuación se muestran los recursos utilizados por sector en el edificio.

Cuadro 3. 13: Materiales utilizados Sótanos típicos del sótano 8 al sótano 1

CANTIDAD DE MATERIAL POR SECTOR																	
ACTIVIDAD	RATIOS	Sector 1A	Sector 2A	Sector 3A	Sector 4A	Sector 5A	Sector 6A	Sector 7A	Sector 1B	Sector 2B	Sector 3B	Sector 4B	Sector 5B	Sector 6B	Sector 7B	SUMA	UND
		254.71	254.66	262.20	254.75	267.50	287.91	269.18	268.99	262.17	271.45	287.12	262.29	257.11	272.26		
A. Verticales	0.01	3.6	3.6	3.7	3.6	3.8	4.1	3.8	3.8	3.7	3.9	4.1	3.7	3.7	3.9	53.0	Ton
A. Horizontales	0.03	7.3	7.3	7.6	7.3	7.7	8.3	7.8	7.7	7.6	7.8	8.3	7.6	7.4	7.8	107.5	Ton
E. Verticales	0.88	224	224	231	224	235	253	237	237	231	239	253	231	226	240	3284.4	m ²
E. Horizontales	1.12	285	285	294	285	300	322	301	301	294	304	322	294	288	305	4180.2	m ²
C. Verticales	0.13	33	33	34	33	35	37	35	35	34	35	37	34	33	35	485.2	m ³
C. Horizontales	0.21	53	53	55	53	56	60	57	56	55	57	60	55	54	57	783.8	m ³
Prelosas	0.85	217	216	223	217	227	245	229	229	223	231	244	223	219	231	3172.5	m ²

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 14: Horas hombre utilizados Sótanos típicos del sótano 8 al sótano 1

CANTIDAD DE HH POR SECTOR																	
ACTIVIDAD	RATIOS	Sector 1A	Sector 2A	Sector 3A	Sector 4A	Sector 5A	Sector 6A	Sector 7A	Sector 1B	Sector 2B	Sector 3B	Sector 4B	Sector 5B	Sector 6B	Sector 7B	SUMA	UND
		254.71	254.66	262.20	254.75	267.50	287.91	269.18	268.99	262.17	271.45	287.12	262.29	257.11	272.26		
A. Verticales	0.03	6.8	6.8	7.0	6.8	7.1	7.7	7.2	7.2	7.0	7.2	7.7	7.0	6.9	7.3	99.5	hh
A. Horizontales	0.05	13.8	13.8	14.2	13.8	14.5	15.6	14.5	14.5	14.2	14.7	15.5	14.2	13.9	14.7	201.7	hh
E. Verticales	0.75	190.5	190.5	196.1	190.5	200.1	215.3	201.3	201.2	196.1	203.0	214.7	196.2	192.3	203.6	2791.5	hh
E. Horizontales	0.95	242.5	242.4	249.6	242.5	254.6	274.1	256.2	256.1	249.6	258.4	273.3	249.7	244.7	259.2	3552.9	hh
C. Verticales	0.34	86.0	86.0	88.6	86.1	90.4	97.3	90.9	90.9	88.6	91.7	97.0	88.6	86.9	92.0	1260.8	hh
C. Horizontales	0.55	139.0	139.0	143.1	139.0	146.0	157.1	146.9	146.8	143.1	148.1	156.7	143.1	140.3	148.6	2036.7	hh
Prelosas	0.09	22.4	22.4	23.1	22.4	23.5	25.3	23.7	23.7	23.1	23.9	25.3	23.1	22.6	24.0	328.4	Ton

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 15: Materiales utilizados Pisos típicos del piso 1 al piso 3

CANTIDAD DE MATERIAL POR SECTOR													
ACTIVIDAD	RATIOS	Sector 1A	Sector 2A	Sector 3A	Sector 4A	Sector 5A	Sector 1B	Sector 2B	Sector 3B	Sector 4B	Sector 5B	SUMA	UND
		279.33	271.69	277.99	284.92	280.61	292.27	285.59	325.93	278.96	291.46		
A. Verticales	0.01	4.0	3.9	3.9	4.0	4.0	4.2	4.1	4.6	4.0	4.1	40.7	Ton
A. Horizontales	0.03	8.0	7.8	8.0	8.2	8.1	8.4	8.2	9.4	8.0	8.4	82.6	Ton
E. Verticales	0.88	246	239	245	251	247	257	251	287	245	256	2524.5	m2
E. Horizontales	1.12	313	304	311	319	314	327	320	365	312	326	3213.0	m2
C. Verticales	0.13	36	35	36	37	36	38	37	42	36	38	372.9	m3
C. Horizontales	0.21	59	57	58	60	59	61	60	68	59	61	602.4	m3
Prelosas	0.85	237	231	236	242	239	248	243	277	237	248	2438.4	m2

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 16: Horas hombre utilizados Pisos típicos del piso 1 al piso 3

CANTIDAD DE HH POR SECTOR													
ACTIVIDAD	RATIOS	Sector 1A	Sector 2A	Sector 3A	Sector 4A	Sector 5A	Sector 1B	Sector 2B	Sector 3B	Sector 4B	Sector 5B	SUMA	UND
		279.33	271.69	277.99	284.92	280.61	292.27	285.59	325.93	278.96	291.46		
A. Verticales	0.03	7.4	7.2	7.4	7.6	7.5	7.8	7.6	8.7	7.4	7.8	76.4	hh
A. Horizontales	0.05	15.1	14.7	15.0	15.4	15.2	15.8	15.4	17.6	15.1	15.8	155.0	hh
E. Verticales	0.97	270.0	262.6	268.7	275.4	271.2	282.5	276.0	315.0	269.6	281.7	2772.8	hh
E. Horizontales	1.23	343.6	334.2	342.0	350.5	345.2	359.5	351.3	401.0	343.2	358.5	3529.1	hh
C. Verticales	0.38	105.3	102.4	104.7	107.4	105.7	110.1	107.6	122.8	105.1	109.8	1080.9	hh
C. Horizontales	0.61	170.0	165.4	169.2	173.4	170.8	177.9	173.8	198.4	169.8	177.4	1746.1	hh
Prelosas	0.09	24.6	23.9	24.5	25.1	24.7	25.7	25.1	28.7	24.5	25.6	252.5	hh

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 17: Materiales utilizados Pisos típicos del piso 4 al piso 14

CANTIDAD DE MATERIAL POR SECTOR													
ACTIVIDAD	RATIOS	Sector 1A	Sector 2A	Sector 3A	Sector 4A	Sector 5A	Sector 1B	Sector 2B	Sector 3B	Sector 4B	Sector 5B	SUMA	UND
		246.16	272.18	229.01	208.89	222.85	166.10	231.23	193.88	196.10	235.54		
A. Verticales	0.01	3.5	3.9	3.3	3.0	3.2	2.4	3.3	2.8	2.8	3.3	31.3	Ton
A. Horizontales	0.03	7.1	7.8	6.6	6.0	6.4	4.8	6.7	5.6	5.6	6.8	63.4	Ton
E. Verticales	0.88	217	240	202	184	196	146	203	171	173	207	1937.7	m2
E. Horizontales	1.12	276	305	256	234	250	186	259	217	220	264	2466.2	m2
C. Verticales	0.13	32	35	30	27	29	22	30	25	25	31	286.3	m3
C. Horizontales	0.21	52	57	48	44	47	35	49	41	41	49	462.4	m3
Prelosas	0.85	209	231	195	178	189	141	197	165	167	200	1871.6	m2

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 18: Horas hombre utilizados Pisos típicos del piso 4 al piso 14

CANTIDAD DE HH POR SECTOR													
ACTIVIDAD	RATIOS	Sector 1A	Sector 2A	Sector 3A	Sector 4A	Sector 5A	Sector 1B	Sector 2B	Sector 3B	Sector 4B	Sector 5B	SUMA	UND
		246.16	272.18	229.01	208.89	222.85	166.10	231.23	193.88	196.10	235.54		
A. Verticales	0.03	6.6	7.3	6.1	5.6	5.9	4.4	6.2	5.2	5.2	6.3	58.7	hh
A. Horizontales	0.05	13.3	14.7	12.4	11.3	12.0	9.0	12.5	10.5	10.6	12.7	119.0	hh
E. Verticales	0.97	237.9	263.1	221.4	201.9	215.4	160.5	223.5	187.4	189.5	227.7	2128.3	hh
E. Horizontales	1.23	302.8	334.8	281.7	257.0	274.1	204.3	284.5	238.5	241.2	289.8	2708.8	hh
C. Verticales	0.38	92.8	102.6	86.3	78.7	84.0	62.6	87.1	73.1	73.9	88.8	829.7	hh
C. Horizontales	0.61	149.8	165.7	139.4	127.1	135.6	101.1	140.7	118.0	119.4	143.4	1340.3	hh
Prelosas	0.09	21.7	24.0	20.2	18.4	19.6	14.6	20.3	17.1	17.3	20.7	193.8	hh

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 19: Materiales utilizados Pisos típicos del piso 15 al piso 17

CANTIDAD DE MATERIAL POR SECTOR									
ACTIVIDAD	RATIOS	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	SUMA	UND
		228.44	222.29	223.10	229.31	265.74	258.49		
A. Verticales	0.01	3.2	3.2	3.2	3.3	3.8	3.7	20.3	Ton
A. Horizontales	0.03	6.6	6.4	6.4	6.6	7.7	7.4	41.1	Ton
E. Verticales	0.88	201	196	196	202	234	227	1256.1	m2
E. Horizontales	1.12	256	249	250	257	298	290	1598.7	m2
C. Verticales	0.13	30	29	29	30	35	34	185.6	m3
C. Horizontales	0.21	48	47	47	48	56	54	299.7	m3
Prelosas	0.85	194	189	190	195	226	220	1213.3	m2

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 20: Horas hombre utilizados Pisos típicos del piso 15 al piso 17

CANTIDAD DE HH POR SECTOR									
ACTIVIDAD	RATIOS	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	SUMA	UND
		228.44	222.29	223.10	229.31	265.74	258.49		
A. Verticales	0.03	6.1	5.9	5.9	6.1	7.1	6.9	38.0	hh
A. Horizontales	0.05	12.3	12.0	12.1	12.4	14.4	14.0	77.1	hh
E. Verticales	0.97	220.8	214.9	215.6	221.6	256.9	249.8	1379.6	hh
E. Horizontales	1.23	281.0	273.5	274.5	282.1	326.9	318.0	1755.9	hh
C. Verticales	0.38	86.1	83.8	84.1	86.4	100.1	97.4	537.8	hh
C. Horizontales	0.61	139.0	135.3	135.8	139.6	161.7	157.3	868.8	hh
Prelosas	0.09	20.1	19.6	19.6	20.2	23.4	22.7	125.6	hh

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3.8.- Análisis de Restricciones

Para proteger nuestro lookahead, se hicieron reuniones semanales en las cuales participaron: ingenieros de campo, de oficina técnica, de calidad, de seguridad, de almacén y un representante del proveedor de prelosas (Entrepisos Lima). A continuación se analizarán las restricciones más relevantes que se encontraron en el proyecto y se describirán las soluciones que se dieron.

- Dependencia de torres grúa

Uno de los principales requisitos para el uso de prelosas en un proyecto, es contar con un sistema de izaje, transporte y colocación de prelosas. En la construcción de edificaciones es común el uso de torres grúas para estas actividades y para cualquier maniobra de izaje de materiales, lo que significa que dichas torres grúas deben estar totalmente operativas en todo periodo de construcción del edificio. En nuestro caso se redujo la variabilidad del posible fallido de la operatividad de torres grúa con mantenimientos periódicos a la torre grúa y al grupo electrógeno que le da energía a dicha torre.

- El proveedor no trabaja bajo un sistema de producción Lean

En nuestra ciudad el mercado solo ofrece un proveedor de prelosas, debido a esto es común tener problemas de abastecimiento. Para reducir o eliminar esta variabilidad se invitó al proveedor a las reuniones semanales de obra, para involucrarlo a trabajar con el sistema Last Planner con el fin que su producción mejore y vaya acorde con los requerimientos exigidos.

- Desorden en la llegada de prelosas

La llegada de las prelosas al área de actividades es, en general, desordenado y confuso, debido a que el proveedor almacena las prelosas de forma aleatoria a medida que va culminando su fabricación. Se tuvo que planificar con el proveedor la colocación de prelosas en el camión y el orden de los viajes, para emplear mejor el tiempo de las grúas, sin interrumpir ni paralizar su trabajo.

Para ello se elaboró una ficha esquemática para la entrega de prelosas en obra la cual se entregaba dos días previos a la llegada de prelosas.

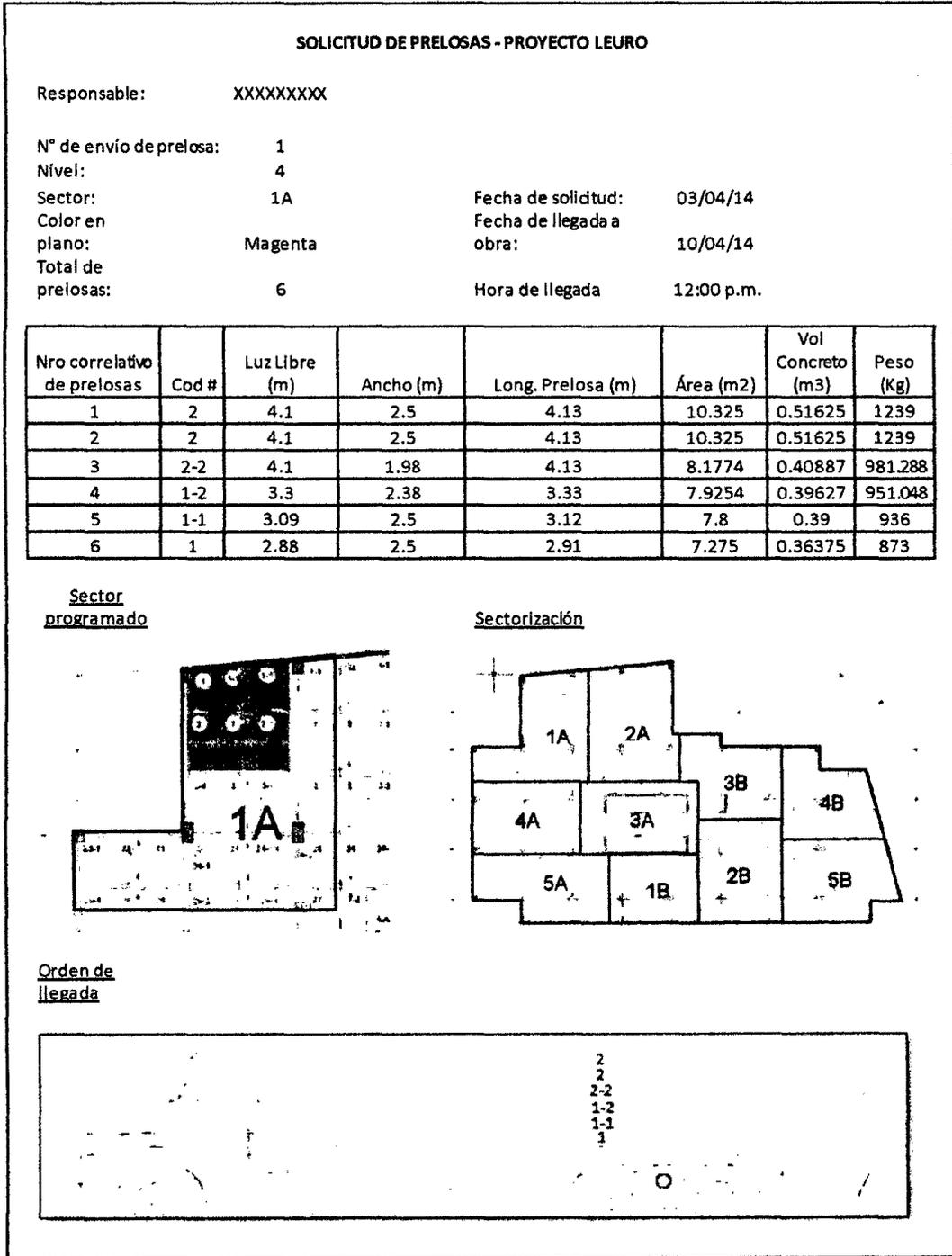


Figura 3. 28: Esquema de solicitud de prelosa

- Calidad de las prelosas

La utilización de prelosas hace reducir el proceso de fabricación de losas insitu, sin embargo dicha fabricación comienza en los talleres del proveedor, por lo que

es importante llevar controles de calidad periódicos durante su fabricación en los talleres del proveedor para garantizar la calidad de los prefabricados y obtener lo realmente requerido en campo para evitar gastos de horas hombre para ajustes en la prelosa y la detención del flujo productivo de construcción.

- Solicitud de prelosas con un plazo mínimo de dos semanas

El tiempo mínimo que requiere el proveedor de prelosas para su fabricación es de 2 semanas, por ello es importante tener los planos aprobados con al menos dos semanas de anticipación. Para reducir o eliminar esta variabilidad es importante realizar reuniones periódicas con todos los involucrados en esta gestión (Ingeniero Estructural, Supervisor de Obra, Ingeniero de Campo y Cliente) para asegurar que el diseño final esté listo en el tiempo oportuno.

- Requerimiento de encofrados y puntales

Así como es importante una interacción constante con el proveedor de prelosas, es importante también, involucrar al proveedor de encofrados y puntales en la programación de reuniones dado que estos son elementos indispensables para la instalación de las prelosas. Cualquier carencia de los mismos podría afectar de manera directa la ejecución de partidas programadas.

- Requerimiento de charlas y equipos de seguridad para trabajos sobre prelosas.

Los trabajos más críticos en cuanto a seguridad en construcción de edificios son los trabajos en altura, por ello es importante programar constantemente charlas de identificación y mitigación de riesgos ante estos trabajos. Así mismo, el almacén de la obra deberá tener disponible en todo momento los equipos de seguridad que los trabajadores requieren para poder caminar de forma segura sobre las prelosas, entre estos equipos de seguridad tenemos: casco con barbiquejo, guantes, botas, lentes, arnés de seguridad enganchado a una línea de vida.

3.2.- Evaluación del Proceso Constructivo

El presente capítulo describe el proceso de instalación de las Losas Prefabricadas desde su llegada a obra hasta el vaciado final de concreto.

A continuación se describirán los procesos constructivos de losas vaciadas de forma convencional vs losas vaciadas con el uso de prelosas.

3.2.1.- Proceso Constructivo de Losas Convencionales

3.2.1.1.- Consideraciones Iniciales

Se debe calcular la cantidad de tablonas, soleras, pies derechos y frisos, así como la cantidad de acero y concreto a utilizar.

3.2.1.2.- Actividades Previas

Ahora bien, previo al vaciado de losa, se deben haber ejecutado algunas actividades previas, las cuales se detallarán a continuación:

Día 1: Colocación de acero de verticales (columnas y placas).

Día 2: Encofrado y vaciados de verticales (columnas y placas).

Día 3: Encofrado de fondo de vigas.

Día 4: Colocación de Acero de Vigas.

3.2.1.3.- Preparación del Vaciado

Día 5: Encofrado de losa y costado de viga.

El encofrado debe estar soportado por pies derechos y para armarlo, es necesario contar con vigas de soporte corridas cuya sección mínima debe ser de 2" x 4".

El extremo inferior de los pies derechos no debe apoyarse sobre ladrillos pandereta ni cualquier otro material débil, porque pueden fallar por el peso que soportan. Su sección mínima será de 2" x 3" y su separación máxima de 80 cm.

Nunca se deberán apoyar los pies derechos sobre suelos sin compactar. Además deberán estar en posición vertical (no inclinados) para que puedan funcionar correctamente en el apuntalamiento del techo.

Sobre estas vigas de soporte o denominadas también vigas de reparto, irán apoyadas las vigas soleras o vigas de carga, las cuales deberán tener una sección de 2" x 2" y separadas 80 cm.

Luego de asegurar todo lo antes mencionado, se procederá a colocar los tabloncillos sobre las soleras (en sentido contrario a estas). Estos tabloncillos servirán para apoyar los ladrillos y para ser fondo de encofrado de las viguetas. Los tabloncillos deben estar espaciados 40 cm entre sus ejes. La sección mínima debe ser 1 ½" de espesor x 8" de ancho.

Para delimitar el vaciado del techo, se deberán colocar frisos en los bordes de la losa con una altura igual a su espesor.

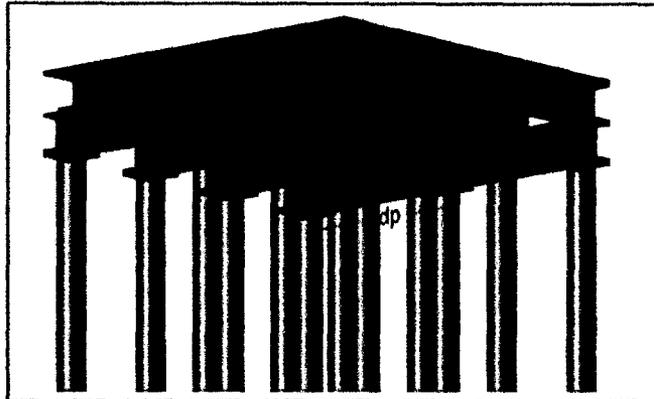


Figura 3. 29: Esquema de encofrado para losa convencional

Día 6: Colocación de ladrillos, instalaciones y acero de refuerzo.

a. Colocación de los ladrillos de techo

Una vez que el entablado del techo se ha terminado, y que el fierro de las vigas ya esté ubicado, se procede con la colocación de los ladrillos y luego a la del fierro en las viguetas y la losa de techo. Cuando se coloca los ladrillos de techo, éstos deben estar alineados uno detrás de otro, sin que queden espacios vacíos

entre ellos para evitar que se filtre el concreto durante el vaciado. Se debe verificar también que estos ladrillos no estén rajados ni partidos.

b. Instalaciones sanitarias y eléctricas

Dentro de una losa aligerada de techo, quedan empotradas una serie de instalaciones, como las tuberías de la red de agua y desagüe, así como las tuberías de electricidad que alimentan a los puntos de luz. Por esta razón, es muy importante tomar precauciones (sobre todo con las tuberías de desagüe) para evitar que atraviesen las viguetas y corten su continuidad y resistencia. En el caso de las tuberías de luz, las cajas octogonales no deben colocarse sobre el encofrado de las viguetas sino en el lugar de los ladrillos.

En caso de losas de bajo espesor (5 cm), estas tuberías pueden quedar expuestas o con muy poco recubrimiento. En estos casos, es necesario amarrarlas con alambre N°16 y tratar de pegarlas contra los ladrillos lo más que se pueda.

El fierro de temperatura tiene como función evitar el agrietamiento de la losa. Generalmente, se utiliza varillas de 6 mm ó 4.7 mm. Estas varillas se amarran a los bastones de las viguetas y a las vigas de amarre cada 25 cm de distancia

c. Colocación del fierro en viguetas y losa

El fierro de viguetas se coloca entre las filas de ladrillo de techo y se enganchan en el fierro de las vigas de confinamiento que van sobre los muros de ladrillo.

El fierro de la losa, llamado también fierro de temperatura, se coloca sobre los ladrillos y en sentido perpendicular a las viguetas, apoyados sobre dados de concreto de 2 cm. de espesor, que se colocan encima de los ladrillos de techo

3.2.1.4.- Vaciado de Concreto

Día 7: Se procede a vaciar el concreto, esparciéndolo y compactándolo con una vibradora o una varilla lisa de ½ pulgada, siendo importante indicar que el concreto de las vigas debe vaciarse en simultáneo con el de la losa (excepto cuando la viga es de albañilería armada), para garantizar un adecuado monolitismo. Enseguida, el concreto de la losa se enrasa con una regla. Es importante curar al concreto durante 7 días consecutivos, ya sea con yute húmedo (regándolo 2 veces al día), o formando arroceras. De observarse fisuras por contracción de secado en la superficie de la losa, debe taponárselas aplicando lechada de cemento sobre dichas fisuras.

3.2.1.5.- Desencofrado de Losa y Acabado final

Día 8: Se realiza el desencofrado retirando los paneles y puntales que sostienen la losa. El retiro de puntales es mucho más complejo que cuando se construyen losas con prelosas debido a la mayor cantidad de puntales que se requiere para un vaciado in situ. Por otro lado, es común encontrar imperfecciones en el acabado de la losa, por lo que se tienen que invertir horas hombre en el solaqueado. Ambas actividades, bajo una correcta programación, demandará como mínimo un día más de trabajo comparado con el sistema de prelosas.

3.2.2.- Proceso de Constructivo de Losas con la utilización de Prelosas

El presente capítulo describe el proceso de instalación de las Losas Prefabricadas desde su llegada a obra hasta el vaciado final de concreto.

3.2.2.1.- Consideraciones Iniciales

Para empezar, se mencionarán algunos requisitos que hay que tomar en cuenta previos al izaje de las prelosas.

Se debe inspeccionar y verificar que los equipos con los cuales vamos a trabajar en la colocación de las prelosas (vigas de izaje, ganchos de seguridad y cable de estrobo flexible) estén operativos para la maniobra.

Se verificará el orden de llegada de las prelosas. Debe coincidir con lo requerido en la obra, esto acorde a la sectorización.

Seguidamente se procede al acondicionamiento de las prelosas para su izaje, en esta etapa se realiza el retiro de rebabas y doblado de las mechas.

Una vez efectuado el acondicionamiento de las prelosas se procede a realizar la colocación de los ganchos en los traichos, esta actividad se realiza con el rigger y el apoyo de un trabajador.

El rigger verificará el enganche de la carga, procurando que al izarse, la prelosa tenga un leve ángulo de inclinación para poder colocarla sin dificultad en la zona de montaje, inmediatamente a esto se colocarán las líneas de viento, las cuales servirán para guiar la carga.

Terminado el paso anterior, se procederá al inicio de izaje de la prelosa, esta deberá ser guiada con las líneas de viento hasta asegurar su direccionamiento.

3.2.2.2.- Actividades Previas

Ahora bien, previo al montaje de las prelosas, se deben haber ejecutado algunas actividades previas según el tren de actividades recomendado, las cuales se detallarán a continuación:

Día 1: Colocación de acero en elementos verticales.

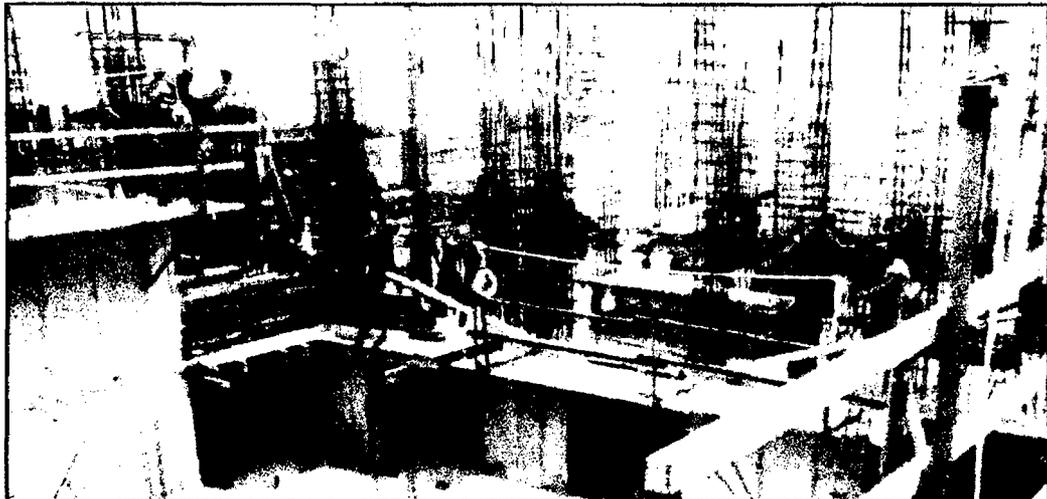


Figura 3. 30: Colocación de aceros verticales

Día 2: Encofrado y vaciados de elementos verticales.



Figura 3. 31: Encofrado con aceros verticales

Día 3: Encofrado de fondo y apuntalamiento de prelasas.

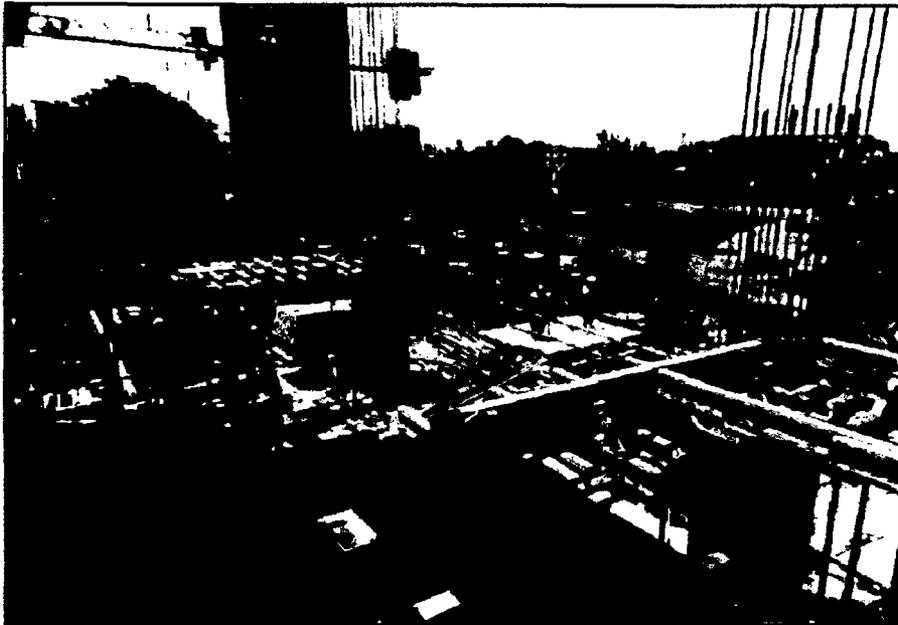


Figura 3. 32: Encofrado de fondo de viga

Día 4: Colocación de acero de vigas.

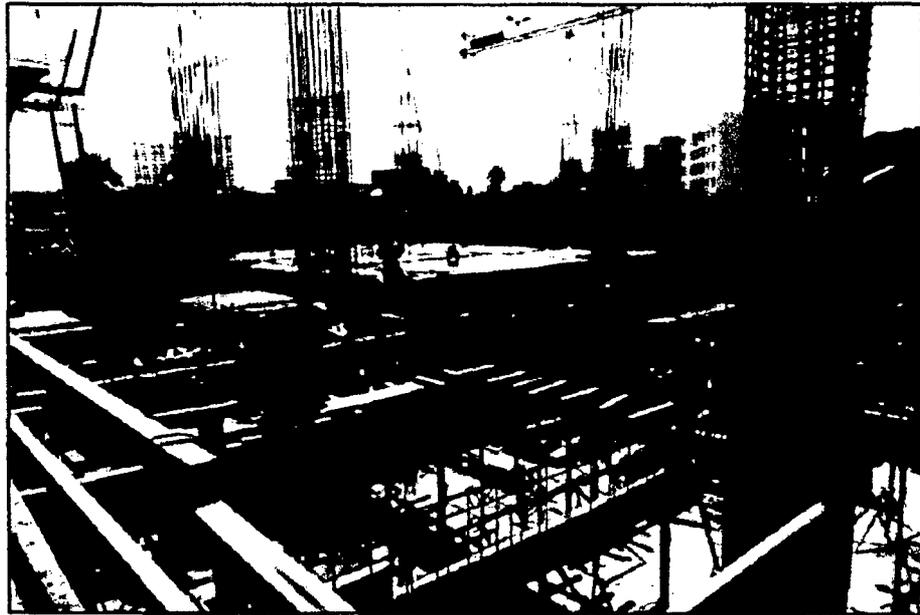


Figura 3. 33: Colocación de acero de viga

3.2.2.3.- Instalación de las Prelosas

Día 4: Colocación de prelosas, acero de losas.

Para la colocación de la prelosa, se debe contar con un rigger (es el encargado de la maniobra), un capataz (que verificará la colocación adecuada de las prelosas) y con dos trabajadores para el apoyo en la colocación de las prelosas.

Antes de que las prelosas sean colocadas insitu, se debe contar con el apuntalamiento de las prelosas, esto se realiza mediante vigas soleras distanciadas en 1.5m.



Figura 3. 34: Colocación de prelosas

3.2.2.4.- Vaciado de Concreto

Día 5: Concreto de horizontales, que se puede realizar tanto con la ayuda de la grúa torre y con la bomba estacionaria para la Impulsión del concreto desde el primer nivel, en el edificio en particular, en los encuentros de columnas y vigas, se tiene una resistencia del concreto mayor al que presentan las losas y vigas y con la ayuda de la grúa torre se puede vaciar los núcleos haciendo más eficiente el vaciado de la losa. Previo al vaciado de losas se deben dejar instaladas las tuberías y cajas de las instalaciones sanitarias y eléctricas respectivamente.



Figura 3. 35: Vaciado de prelasas

Cuadro 3. 20: Cuadro comparativo de actividades en un sector

Comparación de tren de actividades		
	Losas convencionales	Prelosa
Día 1	Colocación de acero de verticales	Colocación de acero de verticales
Día 2	Encofrado y vaciados de verticales	Encofrado y vaciados de verticales
Día 3	Encofrado de fondo y costado de vigas	Encofrado de vigas y apuntalamiento de prelosa
Día 4	Colocación de acero de vigas	Montaje de prelasas y acero de horizontales
Día 5	Encofrado de losa	Instalaciones y vaciado de prelosa
Día 6	Colocación de ladrillos, instalaciones y acero de refuerzo	
Día 7	Vaciado de concreto	
Día 8	Desencofrado de losa y acabado final	

Fuente: Elaboración Propia

3.3.- Procesos eficientes

3.3.1.- Reporte de Tiempos en la Colocación de Losas Prefabricadas

Para poder optimizar el proceso de producción de prelosas y obtener rendimientos confiables, es necesario medir los tiempos que toma esta actividad. Dichos tiempos son: tiempo de enganche, tiempo de transporte, tiempo de colocación, tiempo de desenganche y tiempo de retorno

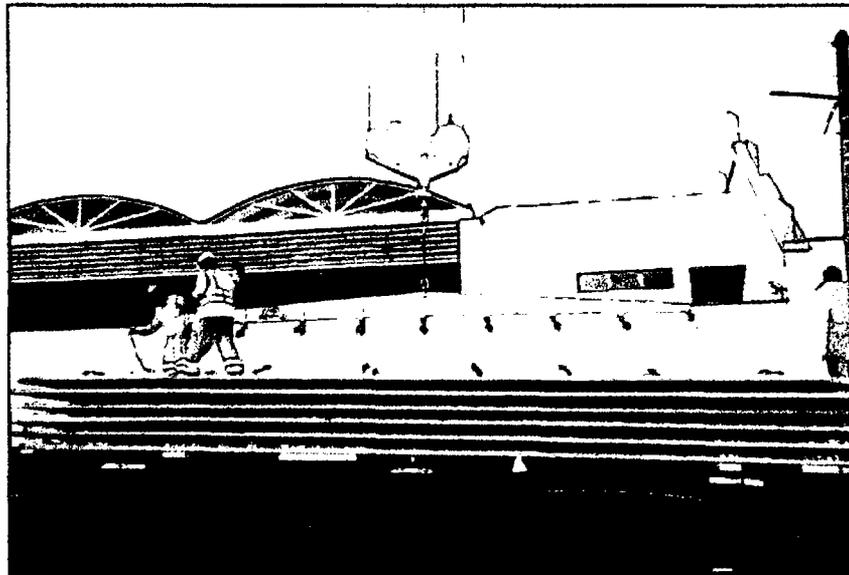


Figura 3. 36: Colocación de prelosa – Enganche

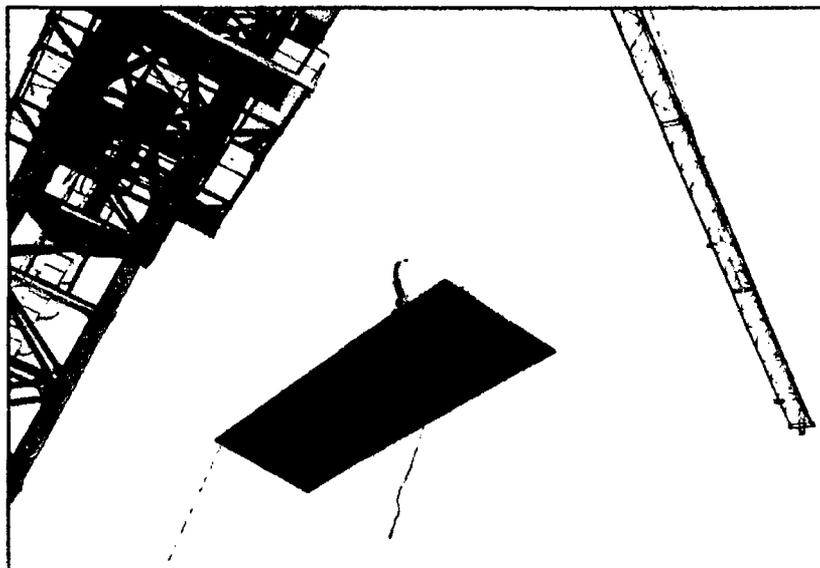


Figura 3. 37: Colocación de prelosa – Transporte

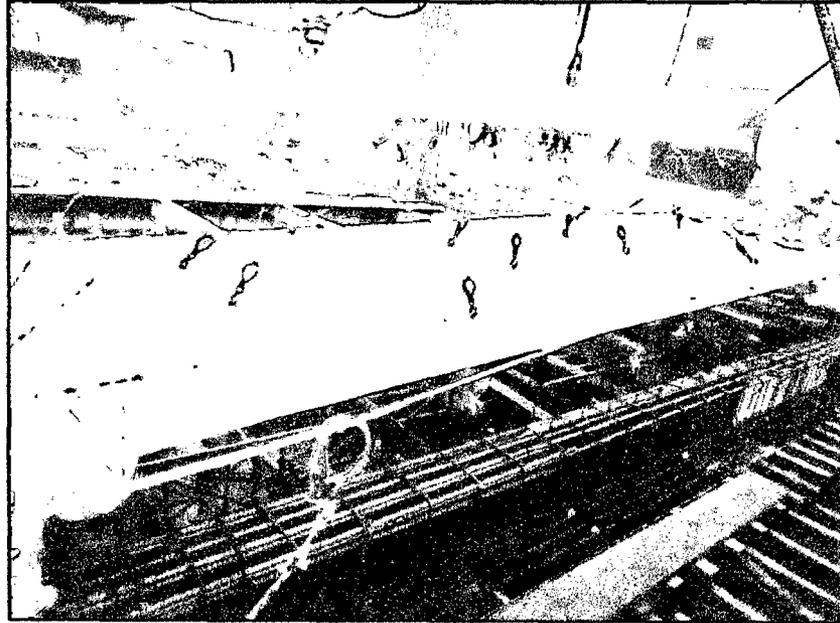


Figura 3. 38: Colocación de prelosa - Colocación

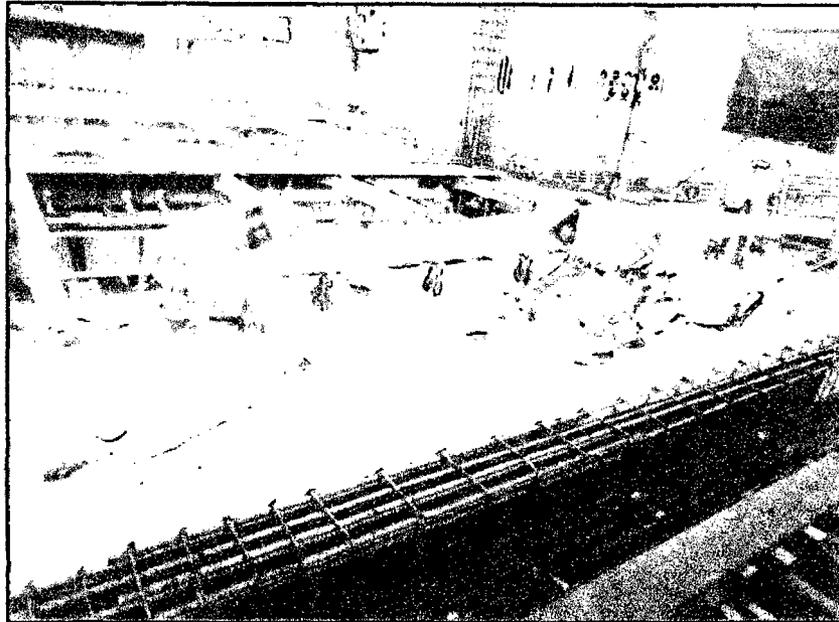


Figura 3. 39: Colocación de prelosa - desenganche

El presente reporte de tiempos se tomó en el sector 1A del piso 5 del edificio. En dicho sector de área 246.16 m² el tiempo total de izaje fue de 2:16 horas.

Es importante mencionar que el tiempo promedio de izaje fue de 250 m² de prelosas en dos horas.

A continuación se muestra el resumen de los tiempos obtenidos en la colocación de las losas prefabricadas.



Figura 3. 40: Sector 1A del 5to piso

Código de Prelosa	Enganche			Transporte			Colocación			Desenganche			Retorno			Total
	H INICIO	H FIN	DURACION													
1	12:08:01 p.m.	12:10:11 p.m.	00:02:10	12:10:11 p.m.	12:11:31 p.m.	00:01:20	12:11:31 p.m.	12:13:50 p.m.	00:02:19	12:13:50 p.m.	12:14:39 p.m.	00:00:49	12:14:39 p.m.	12:15:29 p.m.	00:00:50	00:07:28
1-1	12:15:29 p.m.	12:19:28 p.m.	00:03:59	12:19:28 p.m.	12:20:43 p.m.	00:01:15	12:20:43 p.m.	12:25:04 p.m.	00:04:21	12:25:04 p.m.	12:25:38 p.m.	00:00:34	12:25:38 p.m.	12:26:40 p.m.	00:01:02	00:11:11
1-2	12:26:40 p.m.	12:29:48 p.m.	00:03:08	12:29:48 p.m.	12:30:49 p.m.	00:01:01	12:30:49 p.m.	12:33:04 p.m.	00:02:15	12:33:04 p.m.	12:33:36 p.m.	00:00:32	12:33:36 p.m.	12:34:37 p.m.	00:01:01	00:07:57
2	01:08:59 p.m.	01:11:41 p.m.	00:02:42	01:11:41 p.m.	01:12:59 p.m.	00:01:18	01:12:59 p.m.	01:15:23 p.m.	00:02:24	01:15:23 p.m.	01:16:05 p.m.	00:00:42	01:16:05 p.m.	01:17:01 p.m.	00:00:56	00:08:02
2	12:42:32 p.m.	12:46:06 p.m.	00:03:34	12:46:06 p.m.	12:47:22 p.m.	00:01:16	12:47:22 p.m.	12:50:23 p.m.	00:03:01	12:50:23 p.m.	12:51:07 p.m.	00:00:44	12:51:07 p.m.	12:52:10 p.m.	00:01:03	00:09:38
2-1	12:52:10 p.m.	12:54:40 p.m.	00:02:30	12:54:40 p.m.	12:56:00 p.m.	00:01:20	12:56:00 p.m.	12:58:59 p.m.	00:02:59	12:58:59 p.m.	12:59:38 p.m.	00:00:39	12:59:38 p.m.	01:00:42 p.m.	00:01:04	00:08:32
2-4	01:00:42 p.m.	01:03:48 p.m.	00:03:06	01:03:48 p.m.	01:04:58 p.m.	00:01:10	01:04:58 p.m.	01:07:20 p.m.	00:02:22	01:07:20 p.m.	01:07:58 p.m.	00:00:38	01:07:58 p.m.	01:08:59 p.m.	00:01:01	00:08:17
2	12:34:37 p.m.	12:37:07 p.m.	00:02:30	12:37:07 p.m.	12:38:16 p.m.	00:01:09	12:38:16 p.m.	12:40:56 p.m.	00:02:40	12:40:56 p.m.	12:41:34 p.m.	00:00:38	12:41:34 p.m.	12:42:32 p.m.	00:00:58	00:07:55
2-1	01:17:01 p.m.	01:18:51 p.m.	00:01:50	01:18:51 p.m.	01:20:10 p.m.	00:01:19	01:20:10 p.m.	01:21:04 p.m.	00:00:54	01:21:04 p.m.	01:21:48 p.m.	00:00:44	01:21:48 p.m.	01:22:43 p.m.	00:00:55	00:05:42
23-1	01:22:43 p.m.	01:25:53 p.m.	00:03:10	01:25:53 p.m.	01:27:31 p.m.	00:01:38	01:27:31 p.m.	01:30:20 p.m.	00:02:49	01:30:20 p.m.	01:30:56 p.m.	00:00:36	01:30:56 p.m.	01:31:52 p.m.	00:00:56	00:09:09
23	01:31:52 p.m.	01:33:55 p.m.	00:02:03	01:33:55 p.m.	01:35:34 p.m.	00:01:39	01:35:34 p.m.	01:38:25 p.m.	00:02:51	01:38:25 p.m.	01:39:10 p.m.	00:00:45	01:39:10 p.m.	01:40:14 p.m.	00:01:04	00:08:22
23	01:40:14 p.m.	01:42:15 p.m.	00:02:01	01:42:15 p.m.	01:43:18 p.m.	00:01:03	01:43:18 p.m.	01:46:15 p.m.	00:02:57	01:46:15 p.m.	01:46:56 p.m.	00:00:41	01:46:56 p.m.	01:48:02 p.m.	00:01:06	00:07:48
24-1	01:48:02 p.m.	01:51:04 p.m.	00:03:02	01:51:04 p.m.	01:52:22 p.m.	00:01:18	01:52:22 p.m.	01:55:28 p.m.	00:03:06	01:55:28 p.m.	01:56:05 p.m.	00:00:37	01:56:05 p.m.	01:57:04 p.m.	00:00:59	00:09:02
24	01:57:04 p.m.	01:59:59 p.m.	00:02:55	01:59:59 p.m.	02:01:04 p.m.	00:01:05	02:01:04 p.m.	02:04:14 p.m.	00:03:10	02:04:14 p.m.	02:04:56 p.m.	00:00:42	02:04:56 p.m.	02:05:58 p.m.	00:01:02	00:08:54
24-1X	02:05:58 p.m.	02:08:17 p.m.	00:02:19	02:08:17 p.m.	02:09:18 p.m.	00:01:01	02:09:18 p.m.	02:11:19 p.m.	00:02:01	02:11:19 p.m.	02:11:49 p.m.	00:00:30	02:11:49 p.m.	02:12:47 p.m.	00:00:58	00:06:49
PROMEDIOS			00:02:44			00:01:15			00:02:41			00:00:39			00:01:00	00:08:19

Cuadro 3. 21: Control de tiempos de colocación de prelosas desde el camión hasta su posición final.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.1.- Optimización en los tiempos de enganche

Del cuadro de control de tiempos de prelosas, podemos observar que uno de los tiempos de mayor incidencia es el de enganche. Este tiempo es posible reducirlo si se modifica el sistema de fijación de prelosa y se logra disminuir la cantidad de puntos de enganche. El sistema utilizado en la construcción de nuestro edificio materia de estudio fue el recomendado por el proveedor de prelosas, con una vigueta de izaje según se indica en el capítulo 2.2.2.3.2. (Izaje de prelosas), sin embargo, en otros proyectos de la empresa se logró reducir la cantidad de puntos de enganche, reduciendo el tiempo de colocación de prelosas y optimizando la productividad del proceso.

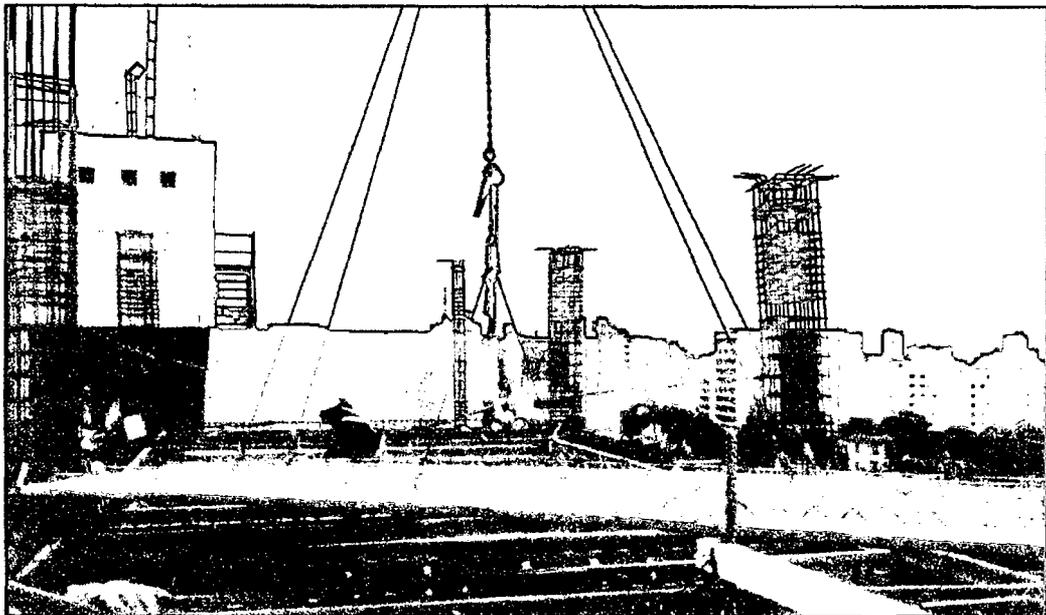


Figura 3. 41: Colocación de prelosa sin vigueta de izaje

La figura anterior se muestra un sistema propuesto para la fijación del izaje de prelosas. Dicho sistema está compuesto por seis estrobos, una cadena y un tecele. El sistema funciona para prelosas de hasta 9.00 m de longitud. Nótese que los 4 estrobos exteriores van sujetos directamente al gancho principal mientras que los estrobos centrales van enganchados al tecele y este a su vez a una cadena que se une con el gancho principal. Este sistema permite que los esfuerzos se repartan uniformemente en los seis puntos de contacto con la prelosa.

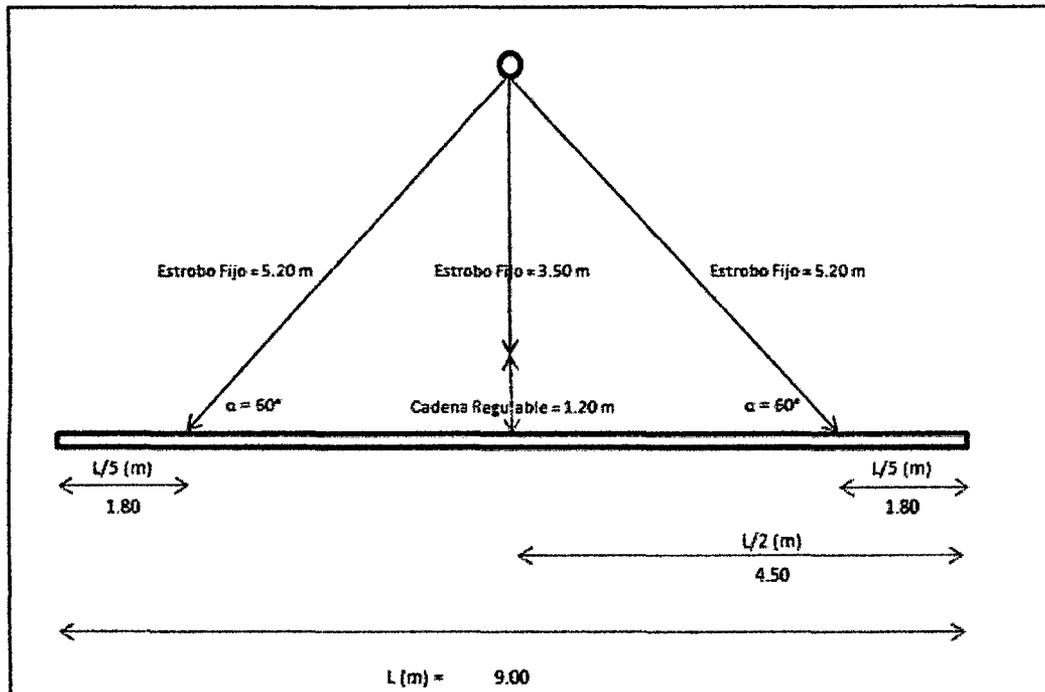


Figura 3. 42: Esquema de sistema de izaje propuesto

Bajo el uso de este sistema se logra disminuir la cantidad de puntos de enganche de 16 puntos a 6 puntos. Esta optimización se refleja en la reducción al 50% del tiempo total de maniobra de prelosa.

Comparando la viga de izaje del proveedor y el accesorio, se tienen las siguientes ventajas:

- El peso del accesorio es de 70 kg, y la viga pesa aprox. 300 kg. Esto es determinante para los montajes, ayuda en los montajes más alejados.
- El accesorio tiene 6 puntos de enganche y las vigas del proveedor tienen 16 y 10 puntos de enganche.
- Es más seguro ya que cada estrobo puede trabajar independientemente, en cambio la viga tiene un sistema de poleas que es una sola cuerda.
- El tiempo del ciclo de la maniobra se reduce en un 50%.

3.3.2.- Carta Balance.

Para la toma de tiempos de cada maniobra de colocación de prelosa se han elaborado cartas balance para poder medir los tiempos productivos, tiempos contributorios y tiempos no contributorios. A continuación se muestran 3 de las cartas balances.

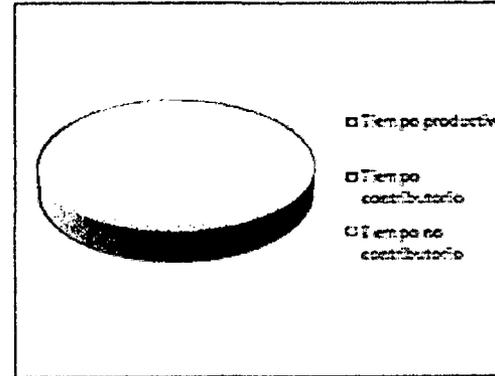
Cuadro 3. 22: Carta balance 1 para colocación de prelosa

Carta Balance - Colocación de Prelosa					
Tiempo (s)	Operario 1	Operario 2	Operario 3	Operario 4	Operador Grúa
0	a	a	f	i	f
10	a	a	i	i	f
20	a	a	i	i	f
30	a	a	i	i	f
40	a	a	i	i	f
50	a	a	i	i	f
60	a	a	i	i	f
70	a	a	i	i	f
80	a	a	i	i	f
90	a	a	i	i	f
100	a	a	i	i	f
110	a	a	i	i	f
120	a	a	i	i	f
130	a	a	i	i	f
140	a	a	i	i	f
150	h	h	i	i	b
160	h	h	i	i	b
170	h	h	i	i	b
180	h	h	f	i	b
190	h	h	f	f	b
200	h	h	f	f	b
210	h	h	f	f	b
220			c	c	c
230			c	c	c
240			c	c	c
250			c	c	c
260			c	c	c
270			c	c	c
280			c	c	c
290			c	c	c
300			c	c	c
310			c	c	c
320			c	c	c
330			c	c	c
340			c	c	c
350			c	c	c
360			c	c	c
370			c	c	c
380			d	d	f
390			d	d	f
400			d	d	f
410			d	d	f
420			g	f	e
430			g	f	e
440			g	i	e
450			g	i	e
460	f	f	g	i	e
470	f	f	g	i	e

Actividades		
TRABAJO PRODUCTIVO		
Colocación de prelosa	c	240
Doblado de acero	g	30
Otras actividades productiva	i	200
Tiempo productivo		470

TRABAJO CONTRIBUTORIO		
Enganche de prelosa	a	150
Operar grúa	b	35
Desenganche de prelosa	d	40
Verificación de prelosa	h	70
Rebabas y doblado de acero	j	240
Tiempo contributorio		535

TRABAJO NO CONTRIBUTORIO		
Retorno de grúa	e	30
Tiempos de espera	f	165
Tiempo no contributorio		195



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 23: Carta balance 2 para colocación de prelosa

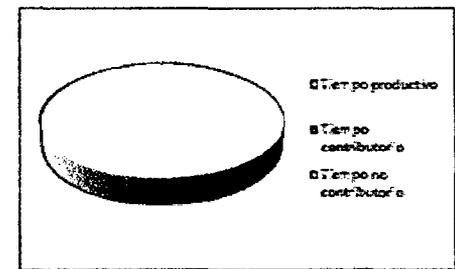
Carta Balance - Colocación de Prelosa					
Tiempo (s)	Operario 1	Operario 2	Operario 3	Operario 4	Operador Grúa
0	a	a	f	i	f
10	a	a	i	i	f
20	a	a	i	i	f
30	a	a	i	i	f
40	a	a	i	i	f
50	a	a	i	i	f
60	a	a	i	i	f
70	a	a	i	i	f
80	a	a	i	i	f
90	a	a	i	i	f
100	a	a	i	i	f
110	a	a	i	i	f
120	a	a	i	i	f
130	h	h	i	i	b
140	h	h	i	i	b
150	h	h	i	i	b
160	h	h	i	i	b
170	h	h	i	i	b
180			i	i	b
190			f	f	b
200			f	f	b
210			c	c	c
220			c	c	c
230			c	c	c
240			c	c	c
250			c	c	c
260			c	c	c
270			c	c	c
280			c	c	c
290			c	c	c
300			c	c	c
310			c	c	c
320			c	c	c
330			c	c	c
340			c	c	c
350			d	d	f
360			d	d	f
370			d	d	f
380			d	d	f
390			d	d	f
400			g	f	e
410			g	i	e
420	f	f	g	i	e
430	f	f	g	i	e
440	f	f	g	i	e
450	f	f	g	i	e
460	f	f	g	i	e

Actividades

TRABAJO PRODUCTIVO		
Colocación de prelosa	c	210
Doblado de acero	g	35
Otras actividades productiva	i	275
Tiempo productivo		460

TRABAJO CONTRIBUTIVO		
Enganche de prelosa	a	130
Operar grúa	b	40
Desenganche de prelosa	d	50
Verificación de prelosa	h	50
Rebabas y doblado de acero	j	240
Tiempo contributivo		510

TRABAJO NO CONTRIBUTIVO		
Retorno de grúa	e	35
Tiempos de espera	f	170
Tiempo no contributivo		205



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3. 24: Carta balance 3 para colocación de prelosa

Carta Balance - Colocación de Prelosa					
Tiempo (s)	Operario 1	Operario 2	Operario 3	Operario 4	Operador Grúa
0	a	a	f	i	f
10	a	a	i	i	f
20	a	a	i	i	f
30	a	a	i	i	f
40	a	a	i	i	f
50	a	a	i	i	f
60	a	a	i	i	f
70	a	a	i	i	f
80	a	a	i	i	f
90	a	a	i	i	f
100	a	a	i	i	f
110	a	a	i	i	f
120	a	a	i	i	f
130	a	a	i	i	f
140	h	h	i	i	b
150	h	h	i	i	b
160	h	h	i	i	b
170	h	h	i	i	b
180	h	h	f	f	b
190	h	h	f	f	b
200	j	j	c	c	c
210	j	j	c	c	c
220	j	j	c	c	c
230	j	j	c	c	c
240	j	j	c	c	c
250	j	j	c	c	c
260	j	j	c	c	c
270	j	j	c	c	c
280	j	j	c	c	c
290	j	j	c	c	c
300	j	j	c	c	c
310	j	j	c	c	c
320	j	j	d	d	f
330	j	j	d	d	f
340	j	j	d	d	f
350	j	j	g	f	e
360	f	f	g	f	e
370	f	f	g	i	e
380	f	f	g	i	e
390	f	f	g	i	e
400	f	f	g	i	e

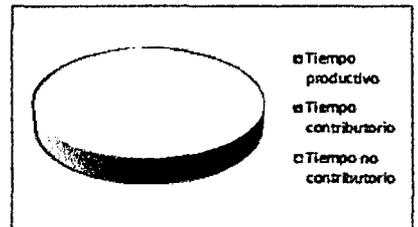
Fuente: Elaboración Propia

Actividades

TRABAJO PRODUCTIVO		
Colocación de prelosa	c	160
Doblado de acero	g	30
Otras actividades productivas	r	195
Tiempo productivo		405

TRABAJO CONTRIBUTORIO		
Enganche de prelosa	a	140
Operar grúa	b	30
Desenganche de prelosa	e	30
Verificación de prelosa	h	60
Rebasas y doblado de acero	j	160
Tiempo contributivo		420

TRABAJO NO CONTRIBUTORIO		
Retorno de grúa	e	30
Tiempos de espera	f	170
Tiempo no contributivo		200



De las cartas balance se puede deducir que el tiempo contributorio, es decir, el tiempo necesario para llevar acabo la colocación final de la prelosa, es el de mayor duración.

En un principio se observó que los operarios encargados de la colocación de prelosas quedaban paralizados mientras esperaban el enganche de prelosas en el camión, la verificación, el quite de rebabas y el transporte, por lo que se coordinó con el capataz para que se les dé trabajos productivos (entre ellos de encofrado y habilitación acero) en sectores aledaños al área de colocación de prelosas mientras ocurrían estos eventos.

A continuación las estadísticas tomadas:

Cuadro 3. 25: Cuadro resumen de tiempos para colocación de prelosa

TRABAJO PRODUCTIVO	%	39.26
TRABAJO CONTRIBUTORIO	%	43.09
TRABAJO NO CONTRIBUTORIO	%	17.65
TOTAL		100.00

Fuente: Elaboración Propia

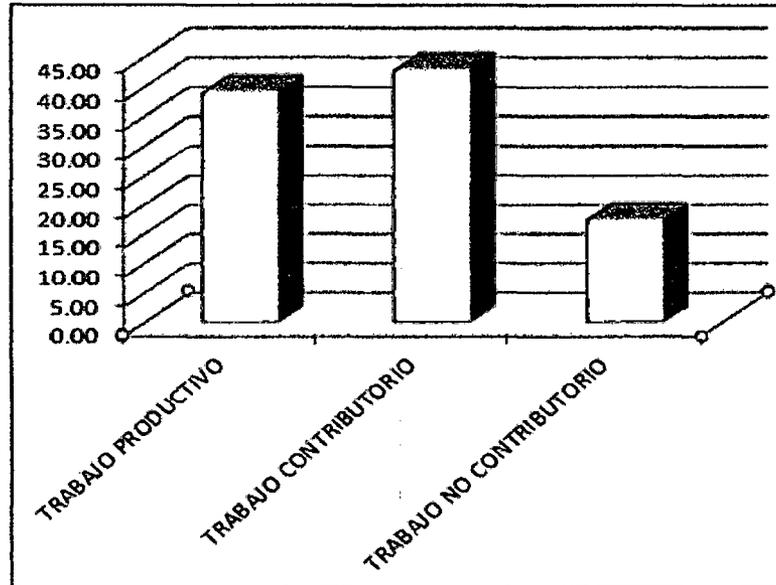


Figura 3. 43: Diagrama de barras para los tiempos de colocación de prelosa

Podemos concluir que el tiempo de colocación de prelosas es corto debido a la simplicidad que ofrece este sistema, sin embargo los tiempos contributorios son

los que lideran este proceso, lo que debe seguir analizándose para ver de continuar mejorando el proceso, a fin de disminuir el tiempo de uso de la grúa, por constituir el insumo de mayor costo.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL USO DE LOSAS PREFABRICADAS (PRELOSAS) EN EDIFICACIÓN

4.1.- Análisis comparativo en recursos utilizados

Como se ha visto en el capítulo anterior, bajo una correcta planificación y programación, el uso de prelosas para la construcción de edificios nos podría reducir hasta en un 20% el tiempo de la construcción del casco, sin embargo, su rentabilidad se refleja también en la cantidad de recursos utilizados en obra.

En el presente capítulo haremos un análisis comparativo de los recursos involucrados en la construcción de losas convencionales y prelosas.

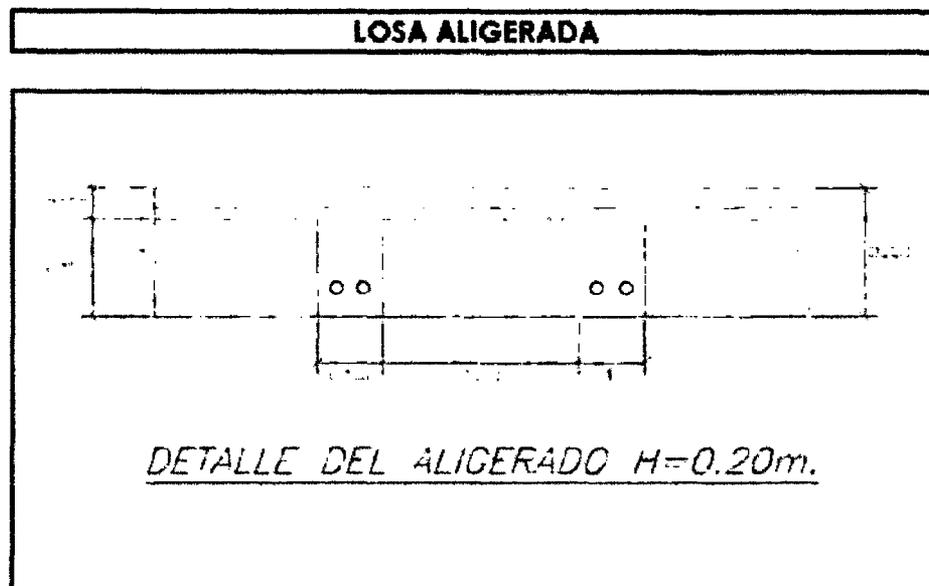


Figura 4. 1: Losa convencional Aligerada

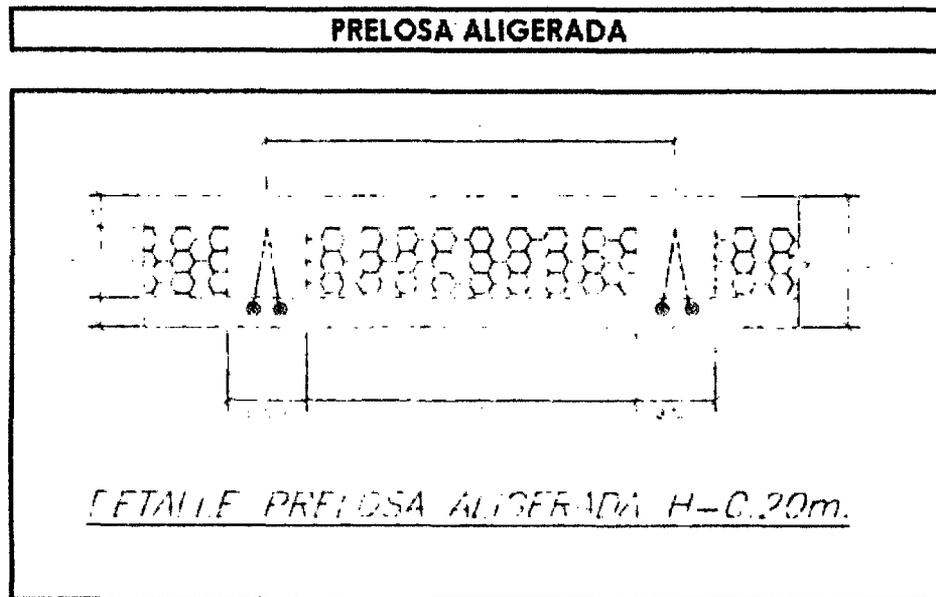


Figura 4. 2: Losa aligerada con el uso de prelosa

Para empezar con el análisis se calcula la cantidad de materiales utilizados por m^2 de losa tanto para losas convencionales como para prelosas. A continuación mostramos un cuadro con las áreas que debemos tomar en cuenta en nuestro análisis.

Cuadro 4. 1: Cuadro de áreas de losas en el edificio Leuro

Área de losas por niveles (m^2)		Área de losas por tipo de losa (m^2)	
Área en sótanos	23,886.72	Área losas aligeradas	53,371.12
Área en torre	34,937.4	Área losas macizas	5,453.00
	58,824.12		58,824.12

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.- Comparativo de concreto utilizado en obra para losas en el edificio Leuro

La cantidad de concreto utilizado en obra para losas varía según el sistema a utilizar.

Con el uso de prelosas, la cantidad de concreto en obra disminuye debido a que la prelosa ya lleva parte de este. Para nuestro análisis se ha tomado un espesor promedio de prelosa de 4.5 cm.

Otra causa de la disminución de concreto con el sistema de prelosas es debido a que la cantidad de viguetas de losa disminuye.

Cuadro 4. 2: Cuadro comparativo de concreto por unidad de área

Volumen x m ²	Convencional		Prelosa		
	Ladrillo	Concreto efectivo	Poliestireno	Prelosa	Concreto efectivo
m ³	m ³ /m ²				
0.2	0.10503	0.09497	0.0798	0.045	0.0752

Fuente: Elaboración Propia

Concreto en Losas Convencionales = **0.09497 x 58,824.12= 5,586.53 m³**

Concreto con Prelosas = **0.07520 x 58,824.12= 4,423.57 m³**

4.1.2.- Comparativo de acero utilizado en obra para losas en el edificio Leuro

La cantidad de acero utilizado en obra para losas también varía según el sistema a utilizar.

Con el uso de prelosas, la cantidad de acero en obra disminuye debido a que en las prelosas aligeradas el acero positivo de las viguetas viene embebido en la prelosa y el acero negativo de las viguetas viene en el tralicho.

Otra causa de la disminución del acero con el sistema de prelosas es debido a que en las losas macizas parte del acero positivo también viene embebido en las prelosas.

Losa Convencional

Cuadro 4. 3: Cuadro de cantidades de acero por unidad de área en losa convencional

Losa Aligerada		Losa Maciza	
Acero en viguetas (kg/ m ²)	3.36	Acero positivo (kg/ m ²)	5.60
Acero temperatura (kg/ m ²)	2.00	Acero negativo (kg/ m ²)	5.60
	5.36		11.20

Fuente: Elaboración Propia

Losa Prelosa

Cuadro 4. 4: Cuadro de cantidades de acero por unidad de área en prelosa

Losa Aligerada		Losa Maciza	
Acero en viguetas (kg/ m ²)	0.00	Acero positivo (kg/ m ²)	0.00
Acero temperatura (kg/ m ²)	2.00	Acero negativo (kg/ m ²)	5.60
	2.00		5.60

Fuente: Elaboración Propia

Acero Losas Convencionales = $53,371.12 \times 5.36 + 5,453.00 \times 11.20 = 347,142.78 \text{ kg}$

Acero Prelosa = $53,371.12 \times 2.00 + 5,453.00 \times 5.60 = 137,279.02 \text{ kg}$

4.1.3.- Comparativo de encofrado utilizado en obra para losas en el edificio Leuro

El encofrado es medido en unidad de área. El cambio de sistema de losas convencionales a prelosas no modifica el área que abarcan las losas, por lo que su metrado tampoco variará. Sin embargo, la disminución de los puntales y viguetas de soporte por unidad de área y; la omisión de viguetas soleras y de paneles; hace que para el sistema de prelosas el precio por unidad de área de encofrado disminuya notablemente.

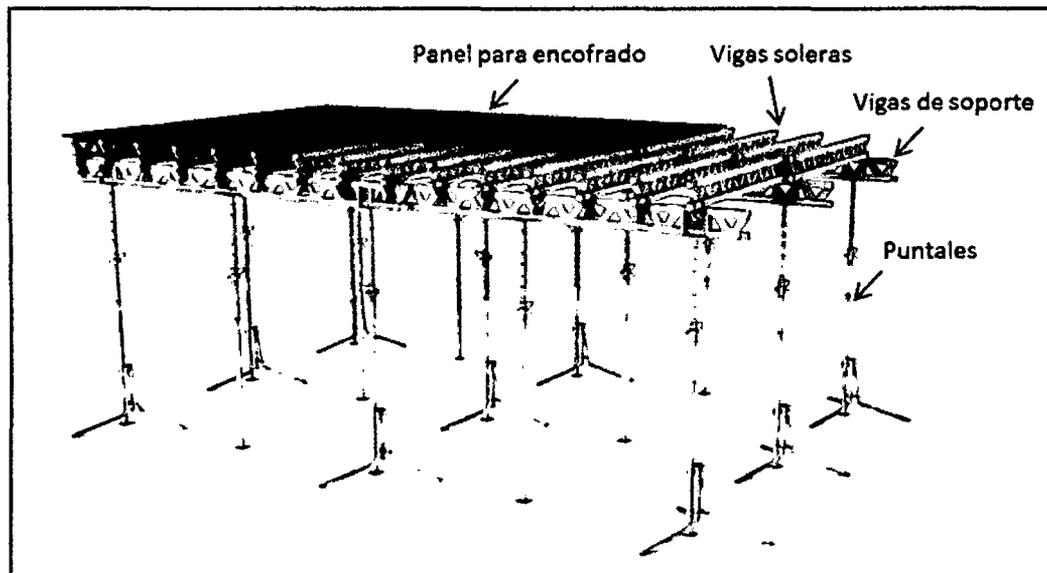


Figura 4. 3: Esquema de encofrado para losa convencional



Figura 4. 4: Apuntalamiento para prelosas

Podemos decir que el encofrado de losas, con la utilización de prelosas, se transforma en un simple apuntalamiento, más práctico y con menos materiales a utilizar, por lo que el precio por unidad de área disminuye notablemente.

Cuadro 4. 5: Cuadro comparativo de la disposición de recursos para encofrado de losa de acuerdo al sistema utilizado

Recurso	Sistema	Disposición
Viguetas de soporte	Convencional	Separación entre viguetas de 0.90 m
	Prelosa	Separación entre viguetas de 1.50 m
Viguetas soleras	Convencional	Separación entre viguetas de 0.80 m
	Prelosa	No requiere viguetas soleras
Puntales	Convencional	Separación entre puntales de 0.80 m
	Prelosa	Separación entre puntales de 2.00 m
Paneles	Convencional	Se requieren 53,539.46 m ²
	Prelosa	No requiere paneles

Fuente: Elaboración Propia

Precio de encofrado de losa convencional = S/. 53.59 /m²

Precio de encofrado de losa con prelosa = S/. 26.33 /m²

4.1.4.- Comparativo de ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno expandido utilizado en obra para losas en el edificio Leuro

Para el sistema convencional se utilizan ladrillos de arcilla, sin embargo para el sistema de prelosas se opta por usar casetones de poliestireno expandido, el cual es un material más liviano y que viene instalado en la prelosa eliminando los tiempos por colocación de ladrillos. El precio de prelosas que los proveedores proponen, incluye el suministro e instalación de los casetones de poliestireno expandido.

Cuadro 4. 6: Cuadro comparativo de ladrillos

Recurso	Sistema	Disposición
Ladrillos	Convencional	Se requieren 416,537 unidades de ladrillos de arcilla.
	Prelosa	Los casetones de poliestireno vienen instalados en la prelosa.

Fuente: Elaboración Propia

Precio de ladrillo de arcilla para losa convencional = **S/. 2.18 /und**

Precio de ladrillo de casetón de poliestireno = **(incluido en el precio de la prelosa)**

4.2.- Análisis comparativo económico entre Sistema de Losas Convencionales vs Sistema de Losas Prefabricadas

En el presente capítulo, se mostrará el esquema presupuestal completo para ambos sistemas. Para comenzar con este análisis económico, mencionaremos las partidas que forman parte de la estructura presupuestal tanto en losas convencionales como en losas prefabricadas.

4.2.1.- Partidas con el Sistema de Losas Convencionales:

a) Encofrado de losa

Cuadro 4. 7: Análisis de precios unitarios encofrado de losa

Partida		Encofrado de losa				Costo unitario directo por : m ²	53.52
Rendimiento	m ² /DIA	10.0000	EQ.	10.0000			
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
Capataz			hh	0.1000	0.0800	32.06	2.56
							2.56
Materiales							
Alambre Negro # 8			kg		0.1800	2.32	0.42
Madera Tornillo			p ²		0.3500	4.50	1.58
Triplay Lupuna			pl		0.0150	90.00	1.35
Desmoldante			kg		0.0600	8.00	0.48
Clavo para Madera			kg		0.1800	3.25	0.59
							4.42
Equipos							
Sierra Circular y Garlopa			dia	0.1500	0.0150	28.00	0.42
Encofrado Metálico - Losas			m ²		1.0000	17.84	17.84
							18.26
Subpartidas							
Habilitación y Colocación de Encofrado Metálico - Altura Simple			m ²		1.0000	28.28	28.28
							28.28

Fuente: Presupuesto con el Sistema Convencional Proyecto Centro Empresarial Leuro

b) Acero corrugado

Cuadro 4. 8: Análisis de precios unitarios acero corrugado

Partida		Acero corrugado				Costo unitario directo por : kg	3.51
Rendimiento	kg/DIA	370.0000	EQ.	370.0000			
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
Capataz			hh	0.1000	0.0022	32.06	0.07
Operario			hh	1.0000	0.0216	18.82	0.41
Peón			hh	1.0000	0.0216	14.67	0.32
							0.79
Materiales							
Acero dimensionado			kg		1.0380	2.44	2.53
Alambre negro #16			kg		0.0450	2.32	0.10
							2.64
Equipos							
Cizalla de palanca			día	0.1600	0.0004	30.80	0.01
Dobladora electrica para fierro			día	0.4000	0.0009	50.40	0.05
Herramientas			%MO		3.0000	0.79	0.02
							0.08

Fuente: Presupuesto con el Sistema Convencional Proyecto Centro Empresarial Leuro

c) Concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (p57, slump 4"-6")

Cuadro 4. 9: Análisis de precios unitarios concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Partida		Concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (p57, slump 4"-6") - Losa				
Rendimiento	m3/DIA	40.0000	EQ. 40.0000	Costo unitario directo por : m3		298.14
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.1000	0.0145	32.06	0.47	
Operario	hh	3.0000	0.4364	18.82	8.21	
Peón	hh	3.0000	0.4364	14.67	6.40	
					15.08	
Materiales						
Cemento Tipo I	bls		0.0800	14.58	1.17	
Concreto $f'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$ (p57, slump 4"-6")	m3		1.0500	234.30	246.02	
Servicio de Bomba	m3		1.0500	33.00	34.65	
					281.83	
Subpartidas						
Vibrador eléctrico	día	1.6000	0.0444	17.40	0.77	
Herramientas	%MO		3.0000	15.08	0.45	
					1.22	

Fuente: Presupuesto con el Sistema Convencional Proyecto Centro Empresarial Leuro

d) Ladrillo de techo 15x30x30

Cuadro 4. 10: Análisis de precios unitarios ladrillo de techo 15x30x30

Partida		Ladrillo de techo 15x30x30				
Rendimiento	und/DIA	800.0000	EQ. 800.0000	Costo unitario directo por : und		2.18
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
Peón	hh	2.0000	0.0200	14.67	0.29	
Capataz	hh	0.1000	0.0010	32.06	0.03	
					0.32	
Materiales						
Ladrillo de Techo, 15x30x30 cm.	und		1.1000	1.68	1.85	
					1.85	
Equipos						
Herramientas	%MO		3.0000	0.32	0.01	
					0.01	

Fuente: Presupuesto con el Sistema Convencional Proyecto Centro Empresarial Leuro

e) Tarrajeo en cielos rasos

Cuadro 4. 11: Análisis de precios unitarios tarrajeo de cielo raso

Partida		Tarrajeo en cielos rasos			
Rendimiento	m2/DIA	35.0000	EQ. 35.0000		Costo unitario directo por : 19.97 m2
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Operario	hh	3.0000	0.6857	18.82	12.91
Peón Peón	hh	1.0000	0.2286	14.67	3.35
Capataz	hh	0.1000	0.0229	32.06	0.73
					16.99
Materiales					
Arena Fina	m3		0.0220	40.00	0.88
Cemento Tipo I	bls		0.1089	14.58	1.59
					2.47
Equipos					
Herramientas	%MO		3.0000	16.98	0.51
					0.51

Fuente: Presupuesto con el Sistema Convencional Proyecto Centro Empresarial Leuro

f) Curado de losa

Cuadro 4. 12: Análisis de precios unitarios curado de losa

Partida		Curado de losa			
Rendimiento	m2/DIA	100.0000	EQ. 100.0000		Costo unitario directo por : 1.21 m2
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Peón	hh	1.0000	0.0800	14.67	1.17
					1.17
Equipos					
Herramientas	%MO		3.0000	1.17	0.04
					0.04

4.2.2.- Partidas con el Sistema de Losas Prelosas:

a) Encofrado de prelosa

Cuadro 4. 13: Análisis de precios unitarios encofrado de prelosa

Partida Encofrado de Prelosa						
Rendimiento	m2/DIA	24.0000	EQ. 24.0000		Costo unitario directo por : m2	26.29
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.1000	0.0333	32.06	1.07	
Operario	hh	1.000	0.3333	18.82	6.27	
Peón	hh	1.000	0.3333	14.67	4.89	
					12.23	
Materiales						
Alambre Negro #8	kg		0.1800	2.32	0.42	
Madera	p2		0.3500	4.50	1.58	
Tornillo	pl		0.0150	86.42	1.30	
Lupuna	kg		0.0600	8.00	0.48	
Clavo para Madera	kg		0.1800	3.25	0.59	
					4.35	
Equipos						
Sierra Circular y Garlopa	dia	0.1500	0.0075	28.00	0.21	
Encofrado Metálico - Losas	m2		1.0000	9.13	9.13	
Herramientas	%MO		0.0300	12.23	0.37	
					9.71	

Fuente: Presupuesto Interno Proyecto Centro Empresarial Leuro

b) Acero corrugado

Cuadro 4. 14: Análisis de precios unitarios acero corrugado

Partida Acero corrugado						
Rendimiento	kg/DIA	370.0000	EQ. 370.0000		Costo unitario directo por : kg	3.51
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.1000	0.0022	32.06	0.07	
Operario	hh	1.0000	0.0216	18.82	0.41	
Peón	hh	1.0000	0.0216	14.67	0.32	
					0.79	
Materiales						
Acero dimensionado	kg		1.0380	2.44	2.53	
Alambre negro #16	kg		0.0450	2.32	0.10	
					2.64	
Equipos						
Cizalla de palanca	día	0.1600	0.0004	30.80	0.01	
Dobladora electrica para fierro	día	0.4000	0.0009	50.40	0.05	
Herramientas	%MO		3.0000	0.79	0.02	
					0.08	

Fuente: Presupuesto Interno Proyecto Centro Empresarial Leuro

c) Concreto f'c=280 kg/cm2 (p57, slump 4"-6")

Cuadro 4. 15: Análisis de precios unitarios concreto f'c=280 kg/cm2

Partida		Concreto f'c=280 kg/cm2 (p57, slump 4"-6") - Losa				
Rendimiento	m3/DIA	40.0000	EQ.	40.0000	Costo unitario directo por : m3	298.14
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.1000	0.0145	32.06	0.47	
Operario	hh	3.0000	0.4364	18.82	8.21	
Peón	hh	3.0000	0.4364	14.67	6.40	
					15.08	
Materiales						
Cemento Tipo I	bls		0.0800	14.58	1.17	
Concreto f'c= 280 Kg/cm2 (p57, slump 4"-6")	m3		1.0500	234.30	246.02	
Servicio de Bomba	m3		1.0500	33.00	34.65	
					281.83	
Subpartidas						
Vibrador eléctrico	día	1.6000	0.0444	17.40	0.77	
Herramientas	%MO		3.0000	15.08	0.45	
					1.22	

Fuente: Presupuesto Interno Proyecto Centro Empresarial Leuro

d) Prelosa maciza

Cuadro 4. 16: Análisis de precios unitarios prelosa

Partida		Prelosa Maciza				
Rendimiento	m2/DIA	200.0000	EQ.	200.0000	Costo unitario directo por : m2	53.74
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.2000	0.0080	32.06	0.26	
Operario	hh	2.000	0.0800	18.79	1.50	
					1.76	
Materiales						
Prelosa aligerada	m2		1.0000	35.50	35.50	
Acero positivo	kg		3.6850	3.63	13.38	
					48.88	
Equipos						
Herramientas	%MO		3.0000	1.76	0.05	
Torre Grúa	m2		1.0000	3.05	3.05	
					0.08	

Fuente: Presupuesto Interno Proyecto Centro Empresarial Leuro

e) Prelosa aligerada

Cuadro 4. 17: Análisis de precios unitarios prelosa

Partida						Prelosa Aligerada					
Rendimiento		m2/DIA	200.000	EQ.		200.000	Costo unitario directo por :			m2	64.61
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PrecioS/.	PardalS/.					
Mano de Obra											
Capataz		hh	0.2000	0.0080	32.06	0.26					
Operario		hh	2.000	0.0800	18.79	1.50					
						1.76					
Materiales											
Prelosa aligerada		m2		1.0000	40.00	40.00					
Acero de refuerzo		kg		2.4800	3.63	9.00					
Poliestireno		und		0.8740	11.88	10.38					
						59.75					
Equipos											
Herramientas		%MO		3.0000	1.76	0.05					
Torre Grúa		m2		1.0000	3.05	3.05					
						3.10					

Fuente: Presupuesto Interno Proyecto Centro Empresarial Leuro

f) Dowels

Cuadro 4. 18: Análisis de precios unitarios dowels

Partida						Dowels					
Rendimiento		m2/DIA	40.0000	EQ.		40.0000	Costo unitario directo por :			m2	8.10
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PrecioS/.	PardalS/.					
Mano de Obra											
Peón		hh	2.0000	0.4000	14.67	5.87					
						5.87					
Materiales											
Anclaje Adhesivo RE 500-SD 500ML		lt		0.0258	79.80	2.06					
						2.06					
Equipos											
Herramientas		%MO		3.0000	5.87	0.18					
						0.18					

Fuente: Presupuesto Interno Proyecto Centro Empresarial Leuro

g) Curado de losa

Cuadro 4. 19: Análisis de precios unitarios curado de losa

Partida						Curado de losa					
Rendimiento		m2/DIA	100.0000	EQ.		100.0000	Costo unitario directo por :			m2	1.21
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PrecioS/.	PardalS/.					
Mano de Obra											
Peón		hh	1.0000	0.0800	14.67	1.17					
						1.17					
Equipos											
Herramientas		%MO		3.0000	1.17	0.04					
						0.04					

4.2.3.- Presupuestos comparativos entre Sistema de Losas Convencionales vs Sistema Losas Prefabricadas

Calculados los métrados y precios unitarios se obtiene el comparativo económico.

Es importante mencionar que los precios de concreto y acero se mantienen iguales para ambos casos, pero los métrados en estas partidas difieren de acuerdo al sistema analizado. En ambos casos hay menores cantidades de acero y concreto en el sistema de prelosas.

Otro punto a destacar es que para el sistema de prelosas no se requiere de limpieza y solaqueo de cielos rasos, debido al buen acabado con el que llegan desde el taller. Sin embargo, para nuestro edificio en estudio, esta ventaja solo se apreció en los sótanos debido a que en pisos superiores se cubrieron con drywall.

Por otro lado es importante tener en cuenta que los precios de los casetones de poliestireno expandido fueron incluidos dentro del precio de las prelosas por lo que no aparecerá en el presupuesto comparativo.

Así tenemos los siguientes costos por unidad de área de losa:

Cuadro 4. 20: Costo directo total de losa aligerada convencional.

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
CONCRETO	m3	4,613.30	298.14	1,375,392.12
ENCOFRADO	m2	48,576.36	53.52	2,599,806.56
ACERO	kg	260,369.27	3.51	915,109.92
LADRILLO / POLIESTIRENO	und	377,924.05	2.18	823,874.42
TARRAJEO EN CIELOS RASOS	m2	18,923.61	19.97	377,858.37
CURADO DE LOSA	m2	48,576.36	1.21	58,777.39
COSTO DIRECTO DE LOSA ALIGERADA CONV.				S/. 126.52 x m2

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4. 21: Costo directo total de prelosa aligerada.

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
CONCRETO	m3	3,652.94	298.14	1,089,075.36
ENCOFRADO	m2	48,576.36	26.29	1,277,287.12
ACERO	kg	97,152.71	3.51	341,458.93
PRELOSA ALIGERADA	m2	48,576.36	64.61	3,138,546.92
DOWELS	und	3,302.40	8.10	26,758.95
CURADO DE LOSA	m2	48,576.36	1.21	58,777.39
COSTO DIRECTO DE PRELOSA ALIGERADA				S/. 122.12 x m2

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4. 22: Costo directo total de losa maciza convencional.

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
CONCRETO	m3	992.62	298.14	295,936.76
ENCOFRADO	m2	4,963.11	53.52	265,625.56
ACERO	kg	55,586.81	3.51	195,368.85
TARRAJEO EN CIELOS RASOS	m2	4,963.11	19.97	99,101.17
CURADO DE LOSA	m2	4,963.11	1.21	6,005.36
COSTO DIRECTO DE LOSA MACIZA CONV.				S/. 173.69 x m2

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4. 23: Costo directo total de prelosa maciza.

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
CONCRETO	m3	769.28	298.14	229,350.99
ENCOFRADO	m2	4,963.11	26.29	130,502.06
ACERO	kg	27,793.41	3.51	97,684.43
PRELOSA MACIZA	m2	4,963.11	53.74	266,710.58
CURADO DE LOSA	m2	4,963.11	1.21	6,005.36
COSTO DIRECTO DE PRELOSA MACIZA				S/. 147.14 x m2

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4. 24: Presupuestos comparativos Losa convencional vs Sistema de Prelosas

COMPARATIVO DE LOSAS ALIGERADAS

COSTO DIRECTO DE LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL							COSTO DIRECTO DE PRELOSA ALIGERADA				
S/. 126.52 x m2							S/. 122.12 x m2				
DESCRIPCIÓN	UND	TIPO	RATIO	CANTIDAD	PRECIO (\$/.)	PARCIAL (\$/.)	TIPO	RATIO	CANTIDAD	PRECIO (\$/.)	PARCIAL (\$/.)
CONCRETO	m3	e = 20 a 25 cm	0.89 hh/m3	4,613.30	298.14	1,375,392.12	e = 4.5 a 5cm	0.89 hh/m3	3,652.94	298.14	1,089,075.36
ENCOFRADO	m2	Alzaprimado	1.60 hh/m2	48,576.36	53.52	2,599,806.56	Apuntalamiento	0.75 hh/m2	48,576.36	26.29	1,277,287.12
ACERO	kg	Según diseño	0.037 hh/ kg	260,369.27	3.51	915,109.92	Según diseño, incluye acero positivo	0.037 hh/ kg	97,152.71	3.51	341,458.93
LADRILLO / POLIESTIRENO	und	Latercer	8.33 und/m2	377,924.05	2.18	823,874.42	Incluye en el precio	-	0.00	0.00	0.00
PRELOSA ALIGERADA	m2	-	-	-	-	0.00	Sistema prelosa aligerada	0.07 hh/m2	48,576.36	64.61	3,138,546.92
DOWELS	und	-	-	-	-	0.00		-	3,302.40	8.10	26,758.95
TARRAJEO EN CIELOS RASOS	m2	Acabado final	1.09 hh/m2	18,923.61	19.97	377,858.37		-	-	-	0.00
CURADO DE LOSA	m2	Con agua	0.08 hh/m2	48,576.36	1.21	58,777.39	Con agua	0.08 hh/m2	48,576.36	1.21	58,777.39

COMPARATIVO DE LOSAS MACIZAS

COSTO DIRECTO DE LOSA MACIZA CONVENCIONAL						COSTO DIRECTO DE PRELOSA MACIZA					
S/. 173.69 x m2						S/. 147.14 x m2					
DESCRIPCIÓN	UND	TIPO	RATIO	CANTIDAD	PRECIO (\$/.)	TIPO	RATIO	CANTIDAD	PRECIO (\$/.)		
CONCRETO	m3	e = 20 a 25 cm	0.89 hh/m3	992.62	298.14	295,936.76	e = 4.5 a 5cm	0.89 hh/m3	769.28	298.14	229,350.99
ENCOFRADO	m2	Alzaprimado	1.60 hh/m2	4,963.11	53.52	265,625.56	Apuntalamiento	0.75 hh/m2	4,963.11	26.29	130,502.06
ACERO	kg	Según diseño	0.037 hh/ kg	55,586.81	3.51	195,368.85	Según diseño, incluye acero positivo	0.037 hh/ kg	27,793.41	3.51	97,684.43
PRELOSA MACIZA	m2	-	-	-	-	0.00	Sistema prelosa maciza	0.07 hh/m2	4,963.11	53.74	266,710.58
TARRAJEO EN CIELOS RASOS	m2	Acabado final	1.09 hh/m2	4,963.11	19.97	99,101.17		-	-	-	0.00
CURADO DE LOSA	m2	Con agua	0.08 hh/m2	4,963.11	1.21	6,005.36	Con agua	0.08 hh/m2	4,963.11	1.21	6,005.36

COSTO DIRECTO		S/. 7,012,856.48	COSTO DIRECTO		S/. 6,662,158.08
PLANEAMIENTO			PLANEAMIENTO		
SECTORIZACION	11 glb		SECTORIZACION	7 glb	
FRENTES	2 glb		FRENTES	2 glb	
PLAZO	15 meses		PLAZO	12.5 meses	
COSTOS INDIRECTOS			COSTOS INDIRECTOS		
COSTO POR REDISEÑO			COSTO POR REDISEÑO	S/. 30,000.00	
OBRAS PROVISIONALES		S/. 5,670,598.10	OBRAS PROVISIONALES	S/. 4,963,254.33	
GASTOS GENERALES		S/. 5,909,448.78	GASTOS GENERALES	S/. 4,924,540.65	
COSTO TOTAL		S/. 18,592,903.36	COSTO TOTAL		S/. 16,579,953.08

Fuente: Elaboración Propia

Nótese que en el cuadro precedente se han colocado los ratios del proyecto para cada partida. Dichos ratios nos indican la cantidad de horas hombre empleadas para cada unidad de trabajo. Se puede apreciar que el ratio en el sistema de prelosas para el encofrado es menor que en el sistema convencional, lo que trae como consecuencia una menor inversión en horas hombre en el proyecto total. Dicha diferencia se refleja en los costos unitarios de esta partida.

Los costos indirectos se han calculado, proporcionalmente a la cantidad de meses que requiera cada sistema, es por ello que los costos de las obras provisionales y los gastos generales para el uso de prelosas también disminuyen.

A estos costos, se le adiciona también el costo por rediseño, dado que este proyecto tenía como alcance inicial la construcción de losas convencionales. Lo que impulsó al cambio de sistema fue la reducción del tiempo de ejecución y la disminución de recursos utilizados en obra.

Finalmente los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Costo directo para losas convencionales = S/. 7, 012,856.48 + IG

Costo directo para prelosas = S/. 6, 662,158.08 + IG

Costo indirecto para losas convencionales = S/. 11, 580,046.88 + IG

Costo indirecto para prelosas = S/. 9, 917,794.98 + IG

Presupuesto total para losas convencionales = S/. 18, 592,903.36 + IG

Presupuesto total para prelosas = S/. 16, 579,953.06 + IG

De las cifras obtenidas, se puede observar que el uso de prelosas en la construcción de edificios puede reducir notablemente los costes de la construcción, haciendo al proyecto más rentable económicamente.

Cuadro 4. 25: Comparativo de costos obras provisionales del proyecto Leuro

ITEM 1	COMPARATIVO DE COSTOS INDIRECTOS		LOSAS CONVENCIONALES			PRELOSAS		
	OBRAS PROVISIONALES Y PRELIMINARES DESCRIPCIÓN	Und.	Medrado	Predio (S/.)	Parcial (S/.)	Medrado	Predio (S/.)	Parcial (S/.)
01.01	OBRAS PROVISIONALES				700,485.25			684,792.05
01.01.01	Movilización y desmovilización de equipos y herramientas	glb	1.00	145,742.25	145,742.25	1.00	145,742.25	145,742.25
01.01.02	Oficina técnica del contratista	m2	119.90	349.73	41,932.63	119.90	349.73	41,932.63
01.01.03	Oficina para la Gerencia y Supervisión (a partir del mes 5)	m2	37.70	159.12	5,998.82	37.70	159.12	5,998.82
01.01.04	Sala de reuniones	m2	11.00	174.58	1,920.38	11.00	174.58	1,920.38
01.01.05	Almacén de obra	m2	152.40	151.30	23,058.12	152.40	151.30	23,058.12
01.01.06	Vestuario para personal obrero	m2	32.80	404.01	13,251.53	32.80	404.01	13,251.53
01.01.07	Traslado de campamento provisionales	glb	1.00	3,919.20	3,919.20	1.00	3,919.20	3,919.20
01.01.08	Comedor para personal obrero	m2	170.00	42.64	7,248.80	170.00	42.64	7,248.80
01.01.09	SS.HH. para personal técnico	mes	15.00	1,241.46	18,621.90	12.50	1,241.46	15,518.25
01.01.10	SS.HH. para la Gerencia y Supervisión	mes	15.00	760.00	11,400.00	12.50	760.00	9,500.00
01.01.11	SS.HH. para personal obrero	mes	15.00	2,025.00	30,375.00	12.50	2,025.00	25,312.50
01.01.12	Instalaciones eléctricas provisionales	glb	1.00	157,777.18	157,777.18	1.00	157,777.18	157,777.18
01.01.13	Instalaciones sanitarias provisionales	mes	15.00	2,250.82	33,762.30	12.50	2,250.82	28,135.25
01.01.14	Limpieza final de obra	glb	1.00	205,477.14	205,477.14	1.00	205,477.14	205,477.14
01.02	SERVICIOS Y TRABAJOS PRELIMINARES				3,653,134.93			2,944,031.97
01.02.01	Transporte horizontal en obra	mes	5.50	13,863.32	76,248.26	5.50	13,863.32	76,248.26
01.02.02	Montaje y desmontaje de grúa torre	glb	1.00	243,763.86	243,763.86	1.00	243,763.86	243,763.86
01.02.03	Transporte vertical con grúa torre	mes	15.00	91,487.65	1,372,314.75	12.50	91,487.65	980,322.30
01.02.04	Limpieza permanente de Obra	mes	15.00	9,298.52	139,477.80	12.50	9,298.52	116,231.50
01.02.05	Topografía permanente de obra	mes	15.00	29,163.19	437,447.85	12.50	29,163.19	364,539.88
01.02.06	Guardiania y control de Ingresos	mes	15.00	5,951.05	89,265.75	12.50	5,951.05	74,388.13
01.02.07	Seguridad policial exterior	mes	15.00	4,350.00	65,250.00	12.50	4,350.00	54,375.00
01.02.08	Agua y electricidad para la obra	mes	15.00	3,000.00	45,000.00	12.50	3,000.00	37,500.00
01.02.09	Iluminación nocturna	mes	15.00	2,458.18	36,872.70	12.50	2,458.18	30,727.25
01.02.10	Montaje, desmontaje y fijación de plataforma elevadora	glb	1.00	126,235.86	126,235.86	1.00	126,235.86	126,235.86
01.02.11	Grupos Electrógenos	mes	15.00	56,242.54	843,638.10	12.50	56,242.54	703,031.75
01.02.12	Ventilación forzada	glb	1.00	111,384.00	111,384.00	1.00	111,384.00	111,384.00
01.02.13	Limpieza y retiro de tecnopor en muros anclados para losas	glb	1.00	15,841.26	15,841.26	1.00	15,841.26	15,841.26
01.02.14	Escarificado y picado de muros anclados (Áreas para losas)	glb	1.00	50,394.74	50,394.74	1.00	50,394.74	50,394.74
01.03	SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE				469,833.53			469,833.53
01.03.03	Equipos de protección colectiva	glb	1.00	357,677.55	357,677.55	1.00	357,677.55	357,677.55
01.03.04	Señalización temporal de seguridad	glb	1.00	103,055.98	103,055.98	1.00	103,055.98	103,055.98
01.03.05	Tratamiento de aire en la construcción (exigencia LEED)	glb	1.00	9,100.00	9,100.00	1.00	9,100.00	9,100.00
01.04	PARTIDAS COMPLEMENTARIAS				847,144.39			823,644.97
01.04.01	Permiso de uso de vías	glb	1.00	4,500.00	4,500.00	1.00	4,500.00	4,500.00
01.04.02	Ensayo de Probetas	glb	1.00	55,000.00	55,000.00	1.00	55,000.00	55,000.00
01.04.03	Pruebas de Compactación	glb	1.00	5,320.00	5,320.00	1.00	5,320.00	5,320.00
01.04.04	Resane de zona de anclajes	m2	53.92	52.95	2,855.06	53.92	52.95	2,855.06
01.04.05	Eliminación desmonte en el proceso constructivo	mes	15.00	9,399.77	140,996.55	12.50	9,399.77	117,497.13
01.04.06	Protección de pisos (plástico y cartón)	glb	1.00	42,006.02	42,006.02	1.00	42,006.02	42,006.02
01.04.07	Reparación de veredas	glb	1.00	15,326.00	15,326.00	1.00	15,326.00	15,326.00
01.04.08	Mantenimiento a vecinos	glb	1.00	10,400.00	10,400.00	1.00	10,400.00	10,400.00
01.04.09	Minicargador Bobcat	mes	2.00	22,814.70	45,629.40	2.00	22,814.70	45,629.40
01.04.10	Andamios	glb	1.00	367,982.53	367,982.53	1.00	367,982.53	367,982.53
01.04.11	Almacén para ascensores	m2	386.00	80.90	31,227.40	386.00	80.90	31,227.40
01.04.12	Reforzamiento de losa para andén de carga y descarga	glb	1.00	125,901.43	125,901.43	1.00	125,901.43	125,901.43

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOSAS PREFABRICADAS

Las ventajas y desventajas que citaremos, se han identificado en distintas construcciones de edificaciones en Lima.

5.1.- Ventajas

a) *Disminución de Encofrado*

Disminuye el uso de encofrado ya que ya no se colocan las viguetas soleras ni paneles de encofrado. Así mismo, la distancia entre los puntales disminuye. Por lo tanto se reducen también los tiempos por encofrado y desencofrado.



Figura 5. 1: Encofrado de Losa convencional



Figura 5. 2: Apuntalamiento de Prelosa

b) Acabado Interior

El acabado interior de la prelosa es cara vista, por lo que ya no se realizan trabajos de limpieza de rebabas ni solaqueo. Solo necesita tratamiento en las juntas.



Figura 5. 3: Acabado de Losa convencional



Figura 5. 4: Acabado de Prelosa

c) Ladrillos sin relleno

El inicio y el fin de las filas de ladrillos ya no son rellenadas con poliestireno, reduciéndose el desperdicio de concreto.

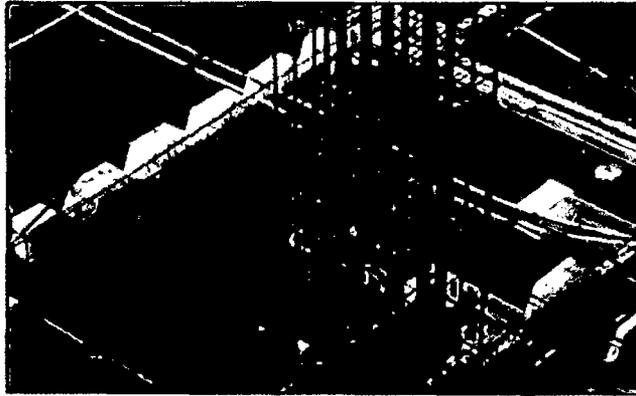


Figura 5. 5: Losa convencional con ladrillos huecos

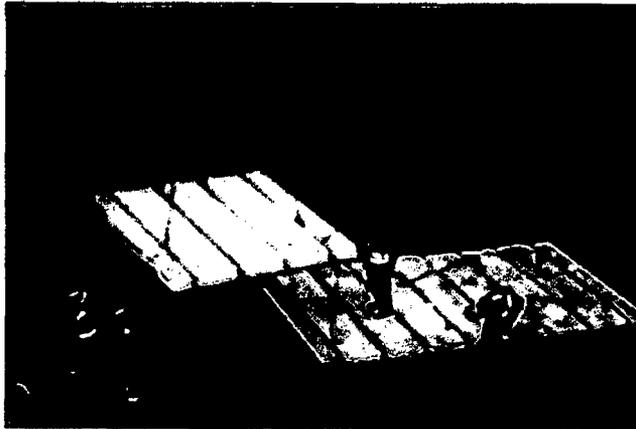


Figura 5. 6: Prelosa con casetones de poliestireno

d) Acero positivo colocado

El acero positivo viene embebido en la prelosa, eliminando los tiempos de habilitación de acero.



Figura 5. 7: Acero positivo de Losa convencional



Figura 5. 8: Acero positivo de Prelosa

e) Instalaciones vienen semi colocadas

Las cajas para las salidas de energía vienen colocadas en la prelosa, se colocan tuberías adicionales en obra.



Figura 5. 9: Instalaciones en Losa convencional

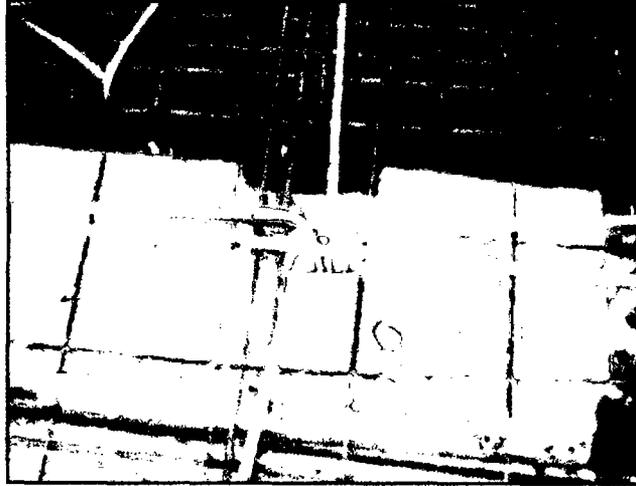


Figura 5. 10: Instalaciones en Prelosa

f) Sistema Versátil

Es posible usar las prelosas en losas aligeradas, así como en losas macizas.

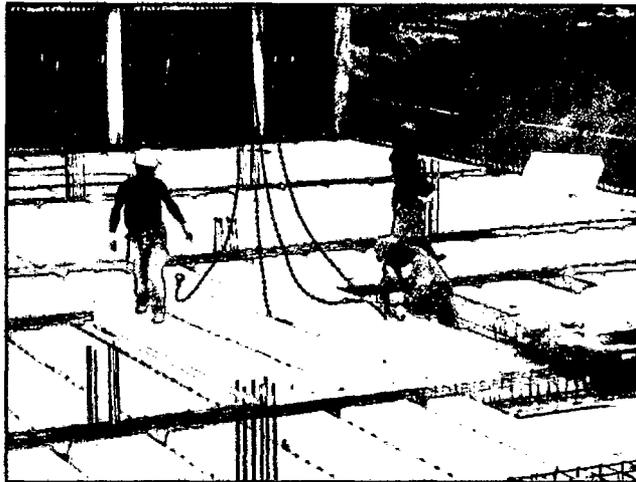


Figura 5. 11: Prelosa en aligerada

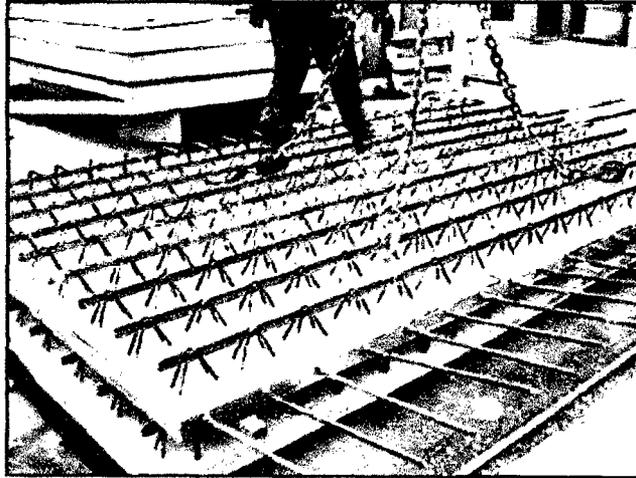


Figura 5. 12: Prelosa en maciza

g) Menor espacio de almacén

Optimiza los espacios de almacén ya que no se cuenta en obra con ladrillos, acero positivo ni con paneles de encofrado.

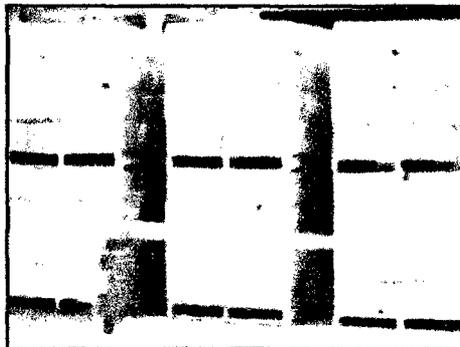
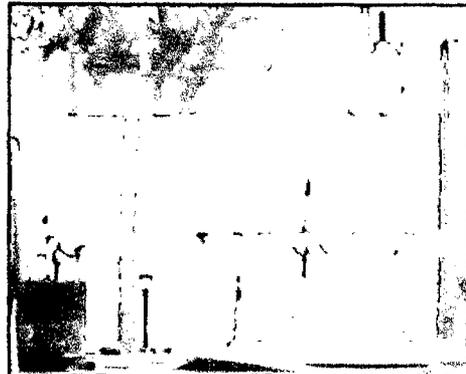
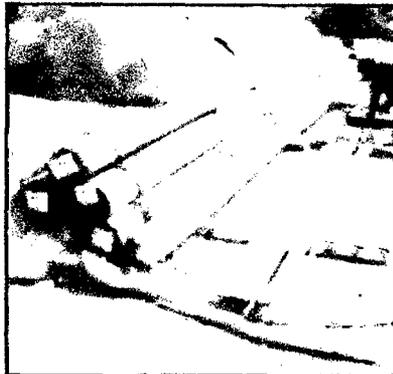


Figura 5. 13: Materiales apilados con Losa convencional



Figura 5. 14: Apilamiento de Prelosa

h) Evita acarreo

Se evita acarreo de materiales, ya que del transporte va directo a zona definitiva de vaciado, por lo que se reducen los insumos de horas hombre por acarreo de material.



Figura 5. 15: Izaje de prelosa en obra

i) Menor personal

Optimiza la cantidad de personal en obra, eliminando cuadrillas para colocar ladrillos (el poliestireno ya vienen colocado), de viguetas y de encofradores.



Figura 5. 16: Cuadrilla de operarios en Losa convencional



Figura 5. 17: Cuadrilla de Operarios en Prelosa

j) Losas más livianas

El uso de casetones de poliestireno expandido, en reemplazo de ladrillos de arcilla, hace que tenga menor peso la estructura, permitiendo un mejor comportamiento sísmico del edificio. Además se disminuye el tamaño de la cimentación y la estructura.



Figura 5. 18: Losa convencional con ladrillos de arcilla

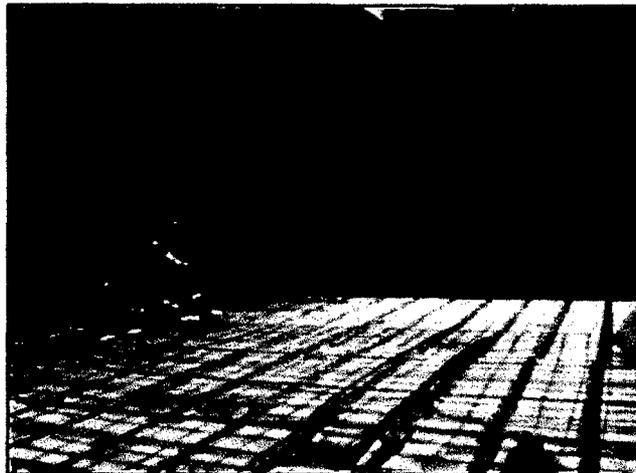


Figura 5. 19: Prelosa con casetones de poliestireno

k) El acero de tralichos ayuda a la adherencia del concreto

El acero de los tralichos ayuda al izaje de las prelosas, sin embargo contribuye también a que el concreto se adhiera a la prelosa.

5.2.- Desventajas

A continuación se mencionará las desventajas indentificadas en el uso de prelosas:

- a) Dependencia del uso de la grúa torre.

- b) El poliestireno expandido sigue siendo un material cuestionado, ya que al quemarse emite gases tóxicos afectando al medio ambiente.

- c) Aumenta ligeramente el uso de acero total a utilizar, ya que la “galleta” de la prelosa cuenta con una malla de acero positivo para que la prelosa no se raje en al momento de ser izada.

- d) Se presume que las vibraciones en la losa sean mayores pudiendo provocar desprendimientos de contrapisos.

- e) Se necesita una cuadrilla adicional de 3 operarios para la colocación de prelosas.

- f) Para la utilización de prelosas en los sótanos se requiere la utilización de dowels para la conexión entre las prelosas y el muro pantalla.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La presente tesis define como idea principal, el análisis del presupuesto y plazo inicial para un proyecto de construcción con el fin de reducir los costos y los tiempos de ejecución, a través de la utilización de prelosas y de la aplicación de la filosofía Lean Construction junto a las herramientas que esta nos brinda.

Para la utilización de cada una de las herramientas y la puesta en marcha de las propuestas, nos basamos en experiencias adquiridas en la empresa en la ejecución de otros proyectos que utilizaron prelosas, para que, a partir de ahí, se continúe con la línea de aprendizaje y seguir dando propuestas de mejora. Las mejoras obtenidas fueron logradas gracias a la participación y retroalimentación entre las propuestas, enlazando la investigación con la realidad en el terreno.

Luego de realizar el estudio durante la ejecución de la obra, observamos que existen herramientas Lean como la Sectorización y los Trenes de Trabajo que se pueden implementar desde el planeamiento de la obra.

Gracias al potencial de las prelosas para la construcción de losas monolíticas de concreto y a su correcta planificación en obra, se logró mejorar los márgenes entre el presupuesto utilizando el proceso constructivo de losas convencionales y el presupuesto interno, logrando de este modo hacer el proyecto más rentable para la empresa constructora.

A continuación, presentamos algunas conclusiones a partir de los resultados obtenidos:

Conclusiones de las ventajas y desventajas

- Se logró identificar las principales ventajas del uso de prelosas para la construcción de losas monolíticas de concreto, siendo la ventaja más significativa la reducción en el uso de encofrado para losas lo que trajo como consecuencia la disminución notable en costos y plazo de la obra.
- En cuanto a la desventaja más significativa del uso de prelosas es la dependencia de la torre grúa debido a que se opta por utilizar torres grúas en edificios de 12 pisos a más.

Conclusiones de recursos utilizados, plazos y costos del proyecto

- Al hacer uso de prelosas en vez de losas convencionales **se ha logrado reducir el costo del proyecto en un 10.80 %**. Para el proyecto se estimó una inversión de S/. 18, 592,903.36 + IGV en construcción de losas convencionales y finalmente se invirtió S/. 16, 579,953.06 + IGV utilizando el sistema de prelosas.
- También **se logró reducir el tiempo del proyecto en un 15.00 %**, siendo esta la ventaja más significativa de las prelosas respecto al sistema convencional. Para el proyecto se estimó un plazo de 482 días en construcción del casco y finalmente se construyó en 402 días.
- Se concluye que en la construcción de losas monolíticas de concreto con prelosas los ratios de encofrado son menores que con losas convencionales debido a la notable reducción de habilitación de materiales. Así mismo el rendimiento aumenta considerablemente, logrando mayores áreas por día de trabajo.
- El tren de actividades con el uso de prelosas para cada sector del casco del edificio tiene dos días de duración menos que con el sistema de losas convencionales.

- **Se redujo el precio del encofrado por m² en un 50%** debido a que el uso de prelosas disminuye la cantidad de encofrado por m². Ya no se emplean paneles o tablonces de encofrado de losa ni vigas soleras, así mismo, la separación entre puntales se reduce de 2.00 m a 0.80 m y la separación entre viguetas de soporte se reduce de 1.50 m a 0.90 m.

- **Se redujo la cantidad de acero habilitado en obra**, ya que parte del acero positivo viene ya instalado embebido en la prelosa. Aun así, la cantidad total de acero en losas aumentará, debido al acero en los tralichos y a la malla embebida de la prelosa la cual reparte las fuerzas del izaje en toda su área y evita que la prelosa se rompa.

- **Se redujo la cantidad de concreto vaciado en obra** y sus desperdicios, (1) debido a que en losas convencionales parte del concreto vaciado queda atrapado en los ladrillos de arcilla y, (2) debido a que, para losas macizas, parte del concreto vaciado en las losas ya viene en la galleta de la prelosa.

- **El uso de prelosas disminuye la cantidad de horas hombre trabajadas en obra**, ya que se reducen y/o evitan horas de acarreo, habilitación de ladrillos, acero y encofrado. Así mismo, las instalaciones y pases vienen colocadas en la prelosa, por lo que se elimina el replanteo en estos casos. Por otro lado, la mano de obra también se ve disminuida por el buen acabado inferior de la prelosa, ya que se omite su limpieza y solaqueado.

- **Se redujeron los costos indirectos de la obra así como los costos de las obras provisionales** (x mes) por ser directamente proporcionales al tiempo de la obra.

Conclusiones del planeamiento

- Trabajar bajo una sectorización determinada, hizo posible que el flujo de la producción sea eficiente ya que se trabajan volúmenes de obra similares en cada día programado.

Conclusiones de la programación

- Siempre se encuentran restricciones en la ejecución de proyectos. Entre las restricciones para la colocación de prelosas tenemos: la dependencia de la torres grúa, la no utilización de Lean Construction en la producción del proveedor, el desorden en la llegada de prelosas, la calidad de llegada de las prelosas, la solicitud de prelosas con un plazo mínimo de dos semanas, el requerimiento de encofrados y puntales y finalmente el requerimiento de charlas y equipos de seguridad para trabajos sobre prelosas.

Conclusiones del control de procesos

- Es posible mejorar los procesos mediante la observación y evaluación de tiempos. Para la presente tesis se evaluó el tiempo de colocación o montaje de prelosas, notando que los tiempos predominantes para esta actividad son los tiempos de enganche de cada prelosa. Este tiempo puede ser reducido cambiando el sistema de izaje y reduciendo el número de puntos de enganche. En otros proyectos de edificaciones, el tiempo de colocación de prelosa se redujo al 50%, optimizando el tiempo de duración en sus trenes de actividades.

Formas posibles del uso de prelosas en edificaciones

- En el presente trabajo se ha estudiado el uso de las prelosas y se han dado los costos directos totales de su uso así como también de las losas convencionales, los cuales pueden tomados de referencia para la ejecución de otros proyectos de edificaciones de la siguiente manera:

a.- Sistema total de prelosas. (Para casos donde el alcance de las torres grúas cubra toda el área techada)

b.- Sistema mixto prelosas - convencional. (Para casos donde el alcance de las torres grúas NO cubra toda el área techada)

Es importante que, para tomar una decisión sobre la elección del sistema a evaluar, se haga proyecten el planeamiento y la programación del proyecto a fin de evaluar su viabilidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda estudiar la construcción de losas monolíticas de concreto con el uso de prelosas en otras ciudades con diferentes climas y accesos al lugar de la construcción.

- Por el elevado costo en el alquiler de la torres grúa y por la dependencia de las prelosas de este equipo, es recomendable utilizar prelosas para la construcción de edificios altos (de 10 pisos a más) donde la torre grúa aporte también en montajes estructuras metálicas, montajes de equipos electromecánicos, acarreo de muebles de gran volumen, acarreos de materiales, entre otros.

- Durante la etapa de planeamiento se debe definir la forma como se ejecutará el proyecto, realizar un análisis concienzudo de las distintas herramientas que Lean Construction ofrece para generar un mayor trabajo productivo y aplicar el uso de prelosas de forma eficiente, buscando su rentabilidad en todos los sentidos, de tal forma, que en el resultado final del proyecto se refleje un ahorro en el presupuesto y en el plazo inicial.

- Asimismo, en la etapa de planeamiento se deberá definir la sectorización. Esta definición deberá ser un trabajo en conjunto entre los ingenieros de campo que se encargarán de la ejecución y de los ingenieros proyectistas, para llegar a un análisis más exacto de la sectorización de elementos verticales y horizontales.

- En la etapa de planeamiento también se debe definir la secuencia con la que ejecutaremos el proyecto y de acuerdo a esto se estimarán los trenes de trabajo y la distribución de cuadrillas para la ejecución del casco. Esto supone tener conformado un tren de trabajo, a partir de la sectorización definida, con el cual se sepa, por ejemplo, desde el inicio del proyecto, que día se estará vaciando elementos verticales de un sótano determinado o los encofrados horizontales de

un nivel determinado nivel. Esto con el fin de proteger el plan específico y darle seguimiento a las restricciones que se presentasen hasta que sean levantadas oportunamente.

- Es importante también, definir la ubicación y número de torres grúa que se utilizará en el proyecto para el izaje de prelosas, tal que su alcance abarque toda el área en planta del proyecto, con el fin de evitar vaciados de losas convencionales.

- Para que el planeamiento y programación se cumplan, es necesario dar el adecuado seguimiento a las tareas. Es importante sentir la filosofía Lean como una herramienta de ayuda para que las cosas caminen de acuerdo a lo programado, con esta herramienta sabremos cómo avanza nuestra obra y además cuidaremos el plazo y el costo; que muchas veces es una de las principales deficiencias en la mayoría de proyectos.

- Para que el flujo del uso de prelosas sea constante, se debe dar un seguimiento especial y levantamiento de las restricciones más comunes para el uso de este recurso, así como de las restricciones de otras partidas involucradas en el tren de actividades del casco, por ser estos trabajos predecesores indispensables para la colocación de prelosas.

- Es posible proteger el plan establecido y evitar la detención del flujo de producción mediante el análisis y levantamiento constante de restricciones. Es recomendable agendar semanalmente reuniones de máximo una hora de duración para el análisis de restricciones. Las reuniones se dan entre el Ingeniero Residente de obra, los ingenieros de campo, los ingenieros de oficina técnica, los ingenieros de seguridad y calidad y si es necesario, se debe citar también a proveedores. En el proyecto Leuro se logró cumplir con los hitos programados para la construcción del edificio en las fechas programadas.

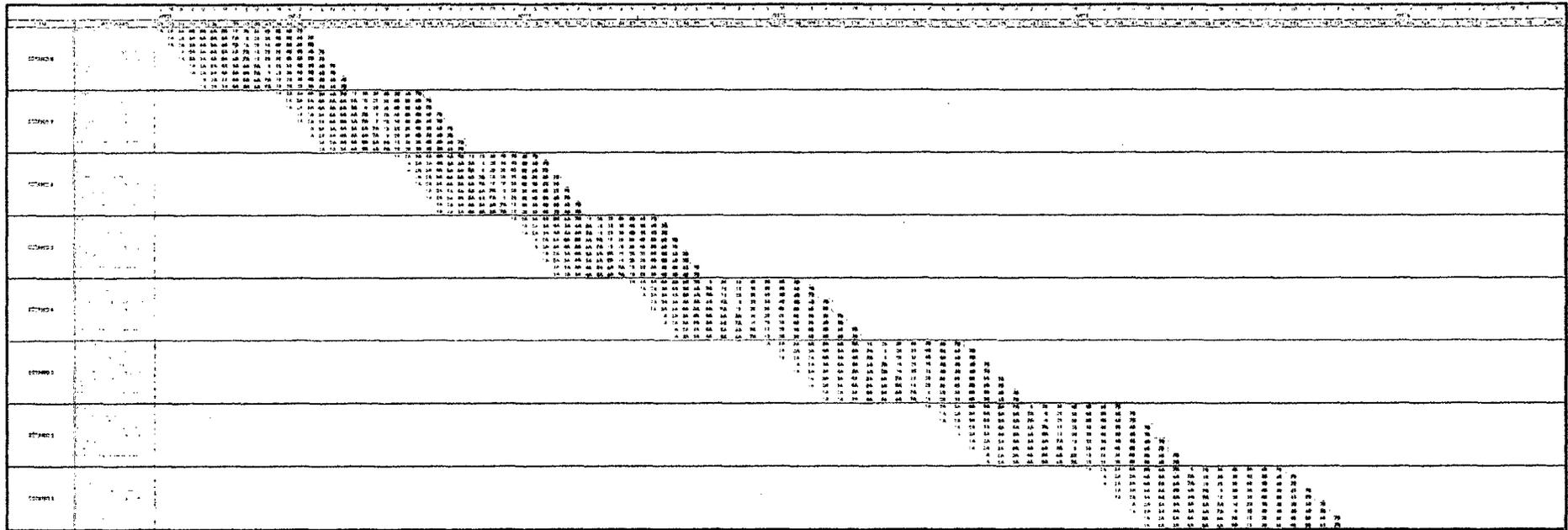
BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón C. Luis F., Martínez C. Luis Felipe, José Miguel Santana V., “Experiencias en el estudio de la productividad en la construcción”, Revista de Ingeniería de Construcción N° 6: Departamento Ingeniería de Construcción – Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago – Chile, 1989.
- Asto Vilcas Jhonson, “Sistema de Losas Prefabricadas (Prelosas) como Mejora en el Proceso Constructivo del Edificio de Oficinas Link Tower”, Informe de Suficiencia: Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú, 2014.
- Escrig Pérez Christian, “Evolución de los Sistemas de Construcción Industrializados a Base de Elementos Prefabricados de Hormigón”, Paper: Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras a la Ingeniería – Universidad de Politécnica de Cataluña, Cataluña – España, 2010.
- Orihuela Pablo, “Lean Construction en el Perú”, Construcción Integral, boletín N°12: Corporación Aceros Arequipa, Lima, abril 2011.
- Pons Achell Juan Felipe, “Introducción a Lean Construction”, Fundación Laboral de la Construcción, Santiago – Chile, marzo 2014.
- Puigpelat Barrado Pau, “Desarrollo de una herramienta para la implantación de Lean Construction”, Tesina: Infraestructura, Transporte y Territorio – Universidad de Politécnica de Cataluña, Cataluña – España, 2012.
- Vivanco Pecho Deisy, “Filosofías de Gestión”, Paper: GyM S.A., Lima – Perú, noviembre 2014.

ANEXOS

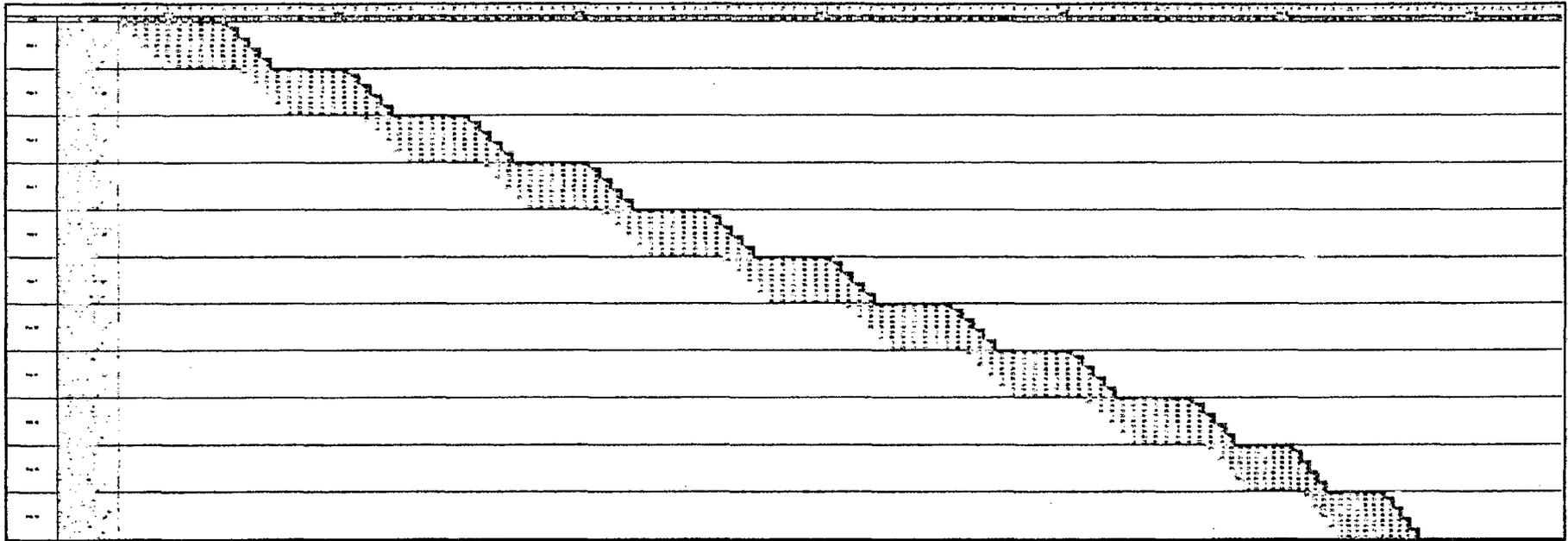
- ✓ **ANEXO 1**
- ✓ **ANEXO 2**
- ✓ **ANEXO 3**
- ✓ **ANEXO 4**
- ✓ **ANEXO 5**
- ✓ **ANEXO 6**
- ✓ **ANEXO 7**
- ✓ **ANEXO 8**

ANEXO 1



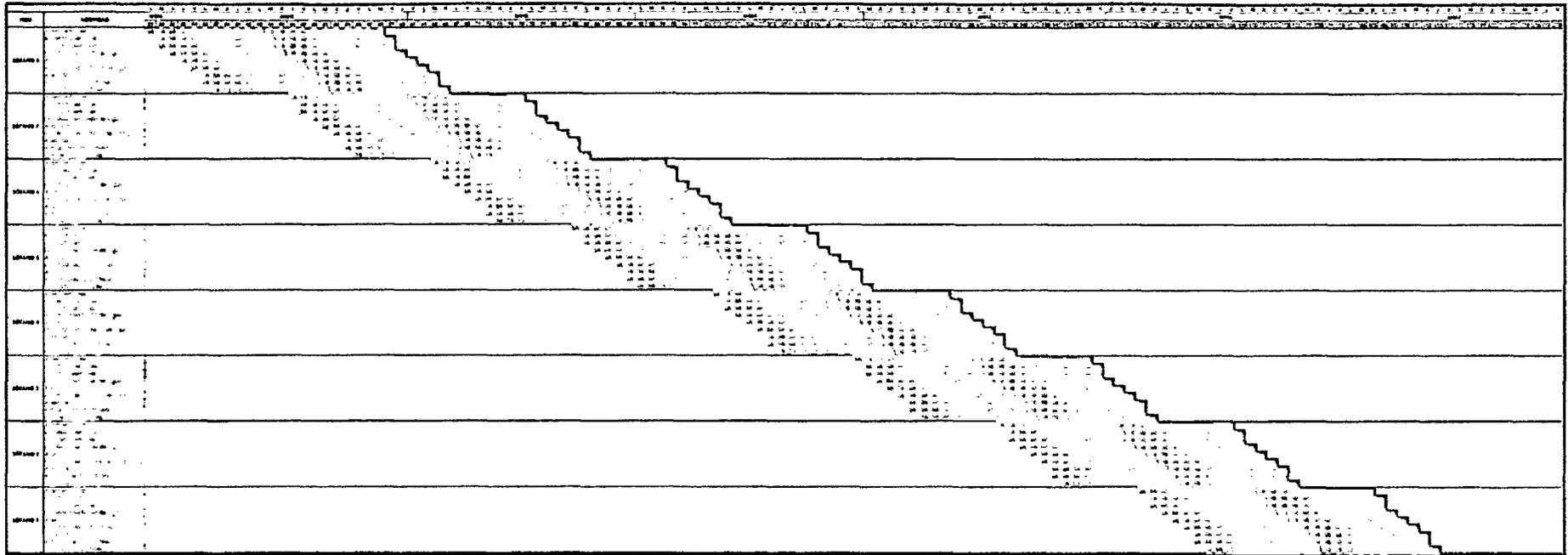
Tren de actividades para sótanos con el uso de prelosas

ANEXO 3



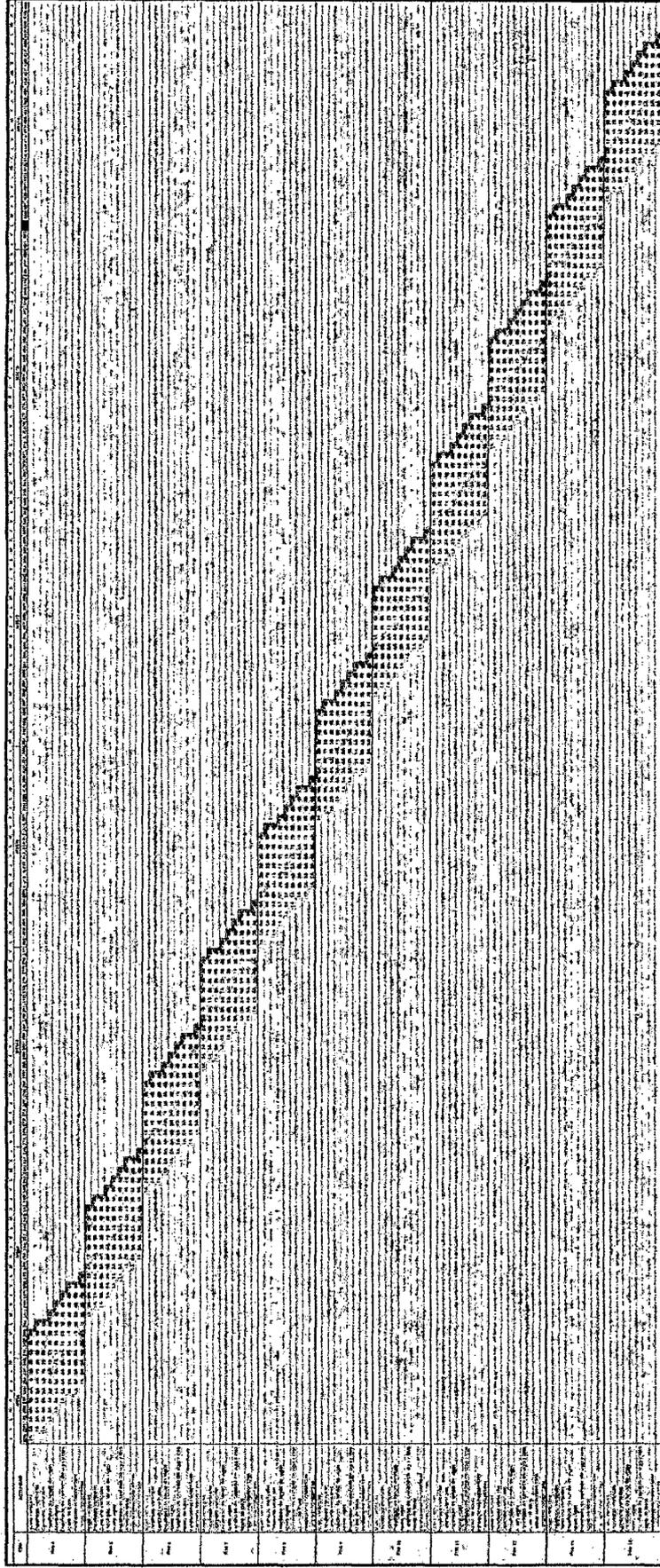
Tren de actividades para el 4to al 14vo piso con el uso de prelosas

ANEXO 5



Tren de actividades para sótanos con el uso de losas convencionales

ANEXO 7



Tren de actividades para el 4to al 14vo piso con el uso de losas convencionales

